

УДК 616.717/.718-001.5-089.843Masquelet:303.442.3](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-5987202615-11>

## Застосування хірургічних технологій лікування постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок сучасної бойової травми. Повідомлення 2. Технологія індукованої мембрани (технологія Masquelet)

С. О. Гур'єв<sup>1</sup>, С. В. Гаріян<sup>2</sup>, В. А. Кушнір<sup>1</sup>, О. С. Цибульський<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДЗ «Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України», Київ

<sup>2</sup> Тернопільська обласна клінічна лікарня. Україна

Combat trauma, which, unfortunately, is now widespread in Ukraine as a result of the Ukrainian-Russian war, causes severe traumatic injuries to both military personnel and civilians. Objective. To provide a complete description of the indications for the use of induced membrane technology (Masquelet technology) in victims with long bone defects resulting from combat trauma. Methods. This study is based on an analysis of 51 cases of the use of the Masquelet technique in victims with long bone defects due to combat injuries. Connection criteria: the use of this particular technology is effective according to absolute or conditionally absolute indications, it was effective Masquelet. Results. It was established that the Masquelet technology was mainly used in victims with long bone defects aged 31–40 years (52.94 %). In addition, the Masquelet technology was most often used on the lower limb 64.70 %. There is a pattern in the use of the Masquelet technology depending on the localization of the long bone defect: in the proximal part of both the upper and lower limbs, this technology was used more often. The Masquelet technology was mainly used in victims with long bone defects measuring 5.0–9.99 cm (45.10 %). At the same time, the Masquelet technology was not used for long bone defects larger than 15 cm. Conclusions. The use of Masquelet technology is appropriate in victims with defects of long bones due to combat trauma in young and middle age, which is due to the age-dependent nature of bone tissue repair processes. There is an obvious dependence of the effectiveness and feasibility of using the induced membrane technology on the size of the defect. The most appropriate application is with a defect size of 5.0–9.99 cm and cavity defects, regardless of the localization of the defect. It is also necessary to take into account the results of a comprehensive analysis of clinical-epidemiological and clinical-anatomical features. Key words. Long bones, defects, sizes, surgical treatment, technology Masquelet, combat injuries.

Бойова травма, яка, на жаль, зараз є поширеною в Україні внаслідок російсько-української війни, призводить до тяжких травматичних уражень. Мета. Навести повноцінну характеристику показів щодо застосування технології індукованої мембрани (технологія Masquelet) у постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми. Методи. Дослідження ґрунтується на аналізі 51 випадку застосування технології Masquelet у пацієнтів із дефектами довгих кісток унаслідок бойових уражень. Критерії включення: використання саме цієї технології здійснене за абсолютними або умовно абсолютними показами, було ефективним. Результати. Виявлено, що технологія індукованої мембрани переважно використовувалася в постраждалих із дефектами довгих кісток віком 31–40 років (52,94 %), найчастіше на нижніх кінцівках — 64,70 %. Існує закономірність її застосування залежно від локалізації дефекту довгої кістки, а саме в проксимальному відділі як верхньої, так і нижньої кінцівки. Здебільшого Masquelet застосовано в постраждалих із дефектами розмірами 5,0–9,99 см (45,10 %) і не використовувалася за дефектів довгих кісток більше 15 см. Висновки. Застосування технології Masquelet доречне в постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми в молодому та середньому віці, що обумовлено віковою залежністю репараційних процесів кісткової тканини. Існує вірогідна залежність ефективності та необхідності застосування технології індукованої мембрани від розміру дефекту. Найбільш доцільне використання — за розміру дефекту 5,0–9,99 см і кавітарних дефектах незалежно від локалізації. Також необхідно враховувати результати комплексного аналізу клініко-епідеміологічних і клініко-анатомічних ознак.

**Ключові слова.** Довгі кістки, дефекти, хірургічне лікування, технологія Masquelet, бойові ушкодження

## Вступ

Бойова травма, яка на жаль є зараз поширеною в Україні внаслідок російсько-української війни, викликає тяжкі травматичні ураження як серед військових, так і мирного населення. До таких ушкоджень відносяться травми довгих кісток і виниклі через них дефекти цих кісток [1]. Лікування постраждалих із такими ураженнями потребує застосування медичних технологій, які раніше використовувалися не досить часто [2–5]. У попередній публікації ми довели, що одним з найпоширеніших способів лікування таких травм є технологія індукованої мембрани (Masquelet) [6]. На жаль, у відкритих і доступних оглядах й аналізах джерелах наукової інформації обмаль даних щодо характеристики застосування цієї технології залежно від клініко-епідеміологічних і клініко-нозологічних характеристик постраждалого, тому саме цей аспект проаналізовано в цьому дослідженні.

Мета: навести повноцінну характеристику показів щодо застосування технології індукованої мембрани (Masquelet) у постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми.

## Матеріал і методи

Дослідження ґрунтується на ретроспективному аналізі 51 випадку використання технології Masquelet у постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойових уражень. Критерії включення: застосування саме цієї технології було здійснено за абсолютними або умовно абсолютними показами й виявилось ефективним.

Постраждалі проходили лікування в цивільних закладах охорони здоров'я. Вивчено й проаналізовано використання технології Masquelet залежно від клініко-епідеміологічної ознаки «вік» та клініко-анатомічної ознаки «ушкодження» (локалізація та розмір дефекту). Це обумовлено впливом зазначених показників на регенераторні та репаративні можливості кістки та м'яких тканин. Аналіз проведено в описовому й інтегральному аспектах. Використано параметричні (ранговий) та непараметричні (поліхоричний аналіз) методи статистики зі застосуванням законів формальної логіки та фрактального аналізу.

Програмно-методологічне забезпечення дослідження відповідає вимогам і критеріям доказової медицини.

Роботу було проведено відповідно до вимог і критеріїв доказової медицини з дотриманням умов Гельсінської декларації і схвалено комісією

з біоетики ДЗ «Український науково-практичний центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф МОЗ України» (протокол № 1 від 12.01.2026 року)

## Результати

Для досягнення мети нашого дослідження було проведено аналіз масиву постраждалих за ознакою віку, при цьому застосовано декадний принцип вікової градації (рис. 1).

Зазначимо, що більше половини постраждалих, яких лікували за технологією Masquelet, складають особи віком 31–40 років. Проведений ранговий аналіз дозволив отримати дані, що наведено в таблиці 1.

Під час аналізу показників виявлено, що існують групи постраждалих, в яких технологія Masquelet не застосовувалася — до 20 років та старше 60 років. Відомо про значну дисипацію розподілу за віковими групами, коефіцієнт співвідношення максимального до мінімального показників складає 6,8, що опосередковано вказує на вірогідність розподілу та залежність використання технології Masquelet від вікової ознаки.

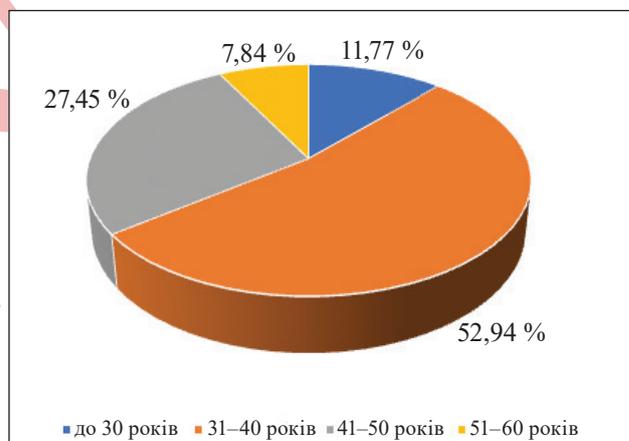


Рис. 1. Вікова характеристика масиву постраждалих

Таблиця 1  
Ранговий аналіз розподілу масиву постраждалих за ознакою віку

| Вік (роки) | Питома вага (%) | Ранг |
|------------|-----------------|------|
| До 20      | 0               | 5    |
| 21–30      | 11,77           | 3    |
| 31–40      | 52,94           | 1    |
| 41–50      | 27,45           | 2    |
| 51–60      | 7,84            | 4    |
| Більше 60  | 0               | 5    |
| Усього     | 100,00          | —    |

Також нами було проведено розподіл масиву за ознакою локалізації дефекту, результати наведено в таблиці 2.

Виявили, що найчастіше Masquelet застосовували на нижній кінцівці — 64,70 %. Крім того, встановлено закономірність використання цієї технології залежно від локалізації дефекту довгої кістки: у проксимальному відділі як верхньої, так і нижньої кінцівки її застосовували частіше. На передпліччі Masquelet — в 1,3 рази частіше ніж на плечі, на гомілці — у 1,8 рази частіше, ніж на стегні. Переважно технологія Masquelet використовувалася на гомілці — 41,17 % (перше рангове місце), а найменше — на плечі (15,69 %). Коефіцієнт співвідношення максимального до мінімального показників становить 2,6, що вказує на помірну дисипацію розподілу масиву й опосередковано може свідчити про достатню вірогідність та об'єктивність цього розподілу.

Іншою важливою клініко-анатомічною характеристикою масиву постраждалих, яким було застосовано технологію Masquelet для лікування дефектів довгих кісток, є ознака «розмір дефекту» (табл. 3).

У групі пацієнтів із дефектами довгих кісток, яким було задіяно технологію Masquelet здебільшого розмір дефектів склав 5,0–9,99 см — 45,10 % (перше рангове місце). Зазначимо, що цю технологію не використовували за умов дефектів < 15 см, за < 10 см — лише в 7,84 %.

Таблиця 2

Ранговий аналіз розподілу масиву постраждалих за ознакою «локалізація ушкодження»

| Локалізація дефекту | Питома вага (%) | Ранг |
|---------------------|-----------------|------|
| Плече               | 15,69           | 1    |
| Передпліччя         | 19,61           | 2    |
| Стегно              | 23,53           | 3    |
| Гомілка             | 41,17           | 4    |
| Усього              | 100,00          | —    |

Таблиця 3

Ранговий аналіз розподілу масиву постраждалих за ознакою «розмір ушкодження»

| Розмір дефекту (см) | Питома вага (%) | Ранг |
|---------------------|-----------------|------|
| 2,5–4,99            | 23,53           | 2    |
| 5,0–9,99            | 45,10           | 1    |
| 10,0–14,99          | 7,84            | 3    |
| Більше 15,00        | 0               | 4    |
| Кавітарний          | 23,53           | 2    |
| Усього              | 100,00          | —    |

Звертає на себе увагу висока питома вага постраждалих, яким виконано втручання цим способом, із кавітарними дефектами й ушкодженнями розмірами до 5 см — по 23,53 %. Ураховуючи зазначене, можна стверджувати, що технологія Masquelet використовується найчастіше за дефектів довгих кісток до 10 см.

Із метою встановлення зв'язку взаємовпливу вікової ознаки та розміру дефекту в постраждалих із дефектами довгих кісток, у яких було застосовано технологію Masquelet, нами проведено розподіл масиву дослідження у вікових групах за ознакою «розмір дефекту» і виконано ранговий аналіз, результати якого наведено в таблиці 4.

Дані таблиці 4 вказують на неспівпадіння рангових місць у вікових групах за ознакою «розмір дефекту». Водночас звертає на себе увагу той факт, що перше місце посідають пацієнти до 30 і старше 51 року, у яких кісткові дефекти розміром 2,5–4,99 см. У постраждалих від 31 року до 50 років — 5,0–9,99 см.

У віковій групі травмованих до 30 років, лікували в такий спосіб здебільшого дефекти розміром до 5 см (66,67 %) та кавітарні (33,33 %). У масиві вікової групи 31–40 років за питомою вагою переважають дефекти розміром 5,0–9,99 см (55,56 %), а найменше — до 5 см.

У пацієнтів віком 41–50 років також переважали ушкодження розміром 5,0–9,99 см, на другому ранговому місці знаходилися постраждалі з кавітарними дефектами (28,57 %), а найменша питома вага припадає на кісткові, розмір яких до 5 см (14,29 %).

У хворих унаслідок бойової травми, яким лікували за Masquelet, здебільшого дефекти склали від 2,5–4,99 см, інші розміри у статистично значущому обсязі не були виявлені. Такий розподіл обумовлений у першу чергу віковою активністю.

Коефіцієнт співвідношення максимального до мінімального показників у віковій групі до 30 років становить 2,0, що вказує на помірну дисипацію розподілу, у віковій групі 31–40 років — 7,5, свідчить про дуже високий її рівень, а у 41–50 — 4,0, — високий рівень, тобто найбільший вірогідний взаємозв'язок існує у вікових групах 31–40 та 41–50 років.

З іншого боку, для досягнення мети дослідження проведено розподіл постраждалих у групах «розмір дефекту» за віковою ознакою. Результати аналізу наведено в таблиці 5.

Аналізуючи показники таблиці 5 виявили, що лише розміри від 2,5–4,99 см зафіксовано у всіх вікових групах постраждалих, причому найчастіше до 30 і старше 51 року — по 33,33 %.

Розміри дефектів довгих кісток 5,0–9,99 см виявлено в осіб лише вікових груп 31–40, 41–50 років, причому у віці 31–40 років їх більше майже у 2 рази. Технологію Masquelet застосовано в постраждалих із дефектами довгих кісток 10–14,99 см лише віком 31–40 років. За кавітарних дефектів довгих кісток лікування в такий спосіб, як правило, відбувалося у віковій групі 31–40 років (50,00 %), а менше в осіб до 30 років (16,67 %).

Поліхоричний аналіз даних таблиці 5 довів, що в постраждалих, яким проведено оперативне лікування за технологією Masquelet із приводу дефектів довгих кісток унаслідок бойової травми, між ознакою «вік» та «розмір дефекту» існує позитивний ( $\phi^2 = 0,5628$ ), дуже сильний ( $C = 0,6001$ ), та вірогідний зв'язок ( $\chi^2 = 28,71$ ). Отже зазначені положення знаходяться в межах поля вірогідності.

Таблиця 4

Ранговий аналіз розподілу масиву постраждалих за розміром дефекту у вікових групах

| Розмір дефекту, см | Вік постраждалих, роки |      |                 |      |                 |      |                 |      |
|--------------------|------------------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
|                    | до 30                  |      | 31–40           |      | 41–50           |      | 51–60           |      |
|                    | питома вага (%)        | ранг | питома вага (%) | ранг | питома вага (%) | ранг | питома вага (%) | ранг |
| 2,5–4,99           | 66,67                  | 1    | 7,41            | 4    | 14,29           | 3    | 100             | 1    |
| 5,0–9,99           | 0                      | 3    | 55,56           | 1    | 57,14           | 1    | 0               | 2    |
| 10,0–14,99         | 0                      | 3    | 14,81           | 3    | 0               | 4    | 0               | 2    |
| Кавітарний         | 33,33                  | 2    | 22,22           | 2    | 28,57           | 2    | 0               | 2    |
| Усього             | 100                    | —    | 100             | —    | 100             | —    | 100             | —    |

Таблиця 5

Ранговий аналіз розподілу масиву постраждалих за віком у групах за розміром дефекту

| Розмір дефекту (см) | Вік пацієнтів, роки |       |       |       | Усього |
|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|
|                     | до 30               | 31–40 | 41–50 | 51–60 |        |
| 2,5–4,99            | 33,33               | 16,67 | 16,67 | 33,33 | 100    |
| 5,0–9,99            | 0                   | 65,22 | 34,78 | 0     | 100    |
| 10,0–14,99          | 0                   | 100   | 0     | 0     | 100    |
| Кавітарний          | 16,67               | 50    | 33,33 | 0     | 100    |

Таблиця 6

Інтегральний аналіз у групах «локалізація дефекту» за розміром дефекту

| Розмір дефекту, см | Локалізація     |      |                 |      |                 |      |                 |      |
|--------------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
|                    | плече           |      | передпліччя     |      | стегно          |      | гомілка         |      |
|                    | питома вага (%) | ранг |
| 2,5–4,99           | 25,00           | 2    | 40,00           | 2    | 16,67           | 2    | 19,05           | 3    |
| 5,0–9,99           | 75,00           | 1    | 60,00           | 1    | 49,99           | 1    | 23,81           | 2    |
| 10,0–14,99         | 0               | 3    | 0               | 3    | 16,67           | 2    | 9,52            | 4    |
| Кавітарний         | 0               | 3    | 0               | 3    | 16,67           | 2    | 47,62           | 1    |
| Усього             | 100             | —    | 100             | —    | 100             | —    | 100             | —    |

Таблиця 7

Інтегральний аналіз у групах «розмір дефекту» за локалізацією дефекту

| Розмір дефекту (см) | Локалізація дефекту |             |        |         | Усього |
|---------------------|---------------------|-------------|--------|---------|--------|
|                     | плече               | передпліччя | стегно | гомілка |        |
| 2,5–4,99            | 16,67               | 33,33       | 16,67  | 33,33   | 100    |
| 5,0–9,99            | 26,09               | 26,09       | 26,09  | 21,73   | 100    |
| 10,0–14,99          | 0                   | 0           | 50,00  | 50,00   | 100    |
| Кавітарний          | 0                   | 0           | 16,67  | 83,33   | 100    |

Для визначення клініко-анатомічної структури дефектів довгих кісток, за яких застосовано технологію Masquelet, нами здійснено інтегральний аналіз за ознаками розміру та локалізації дефекту, результати якого наведено в таблицях 6–7.

Під час рангового аналізу даних таблиці 6 встановлено, що існує співпадіння рангових місць лише на сегментах верхньої кінцівки, на нижній кінцівці воно відсутнє.

У групі постраждалих із дефектом плеча технологію Masquelet застосовано переважно за умов розміру 5,0–9,99 см у 75,00 %, а 25,00 % — 2,5–4,99 см. Кавітарні та дефекти < 10 см у нашому дослідженні в статистично значущому обсязі не фіксувалися. У постраждалих із дефектом передпліччя зберігається ідентичний розподіл, але ураження розміром 5,0–9,99 складають 60,00 %.

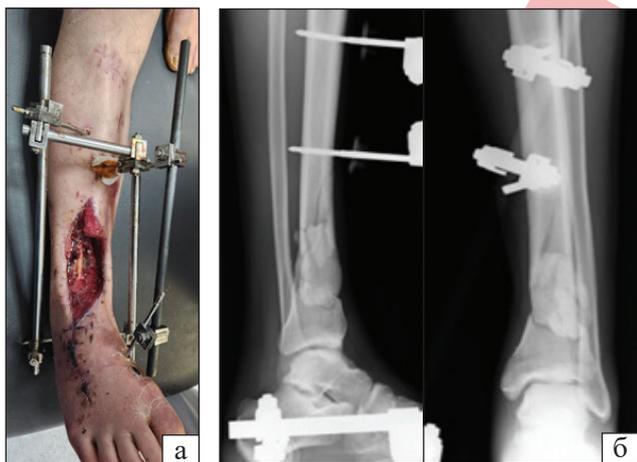


Рис. 2. Фото травми під час госпіталізації (а); фотовідбиток рентгенограми хворого на момент госпіталізації (б)

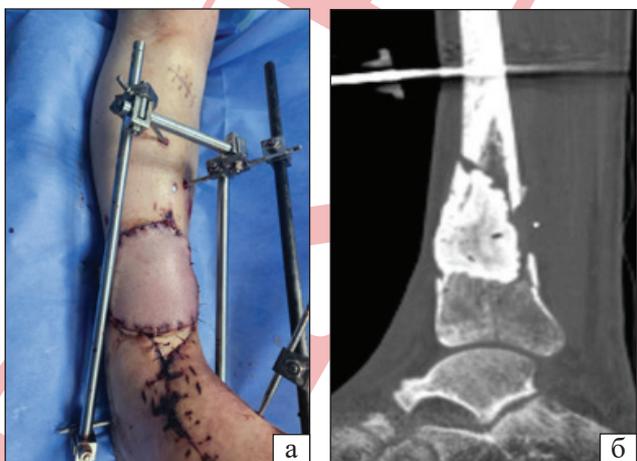


Рис. 3. Закриття дефекту м'яких тканин (а); фотовідбиток рентгенограми після встановлення цементного спейсера (б)

У групі постраждалих із дефектами стегнової кістки на першому ранговому місці — 5,0–9,99 см (49,99 %), а інші мають однакову питому вагу — по 16,67 %. На гомілці найбільша питома вага припадає на кавітарні дефекти — 47,62 %, а найменша — 10–14,99 см.

Результати розподілу масиву постраждалих за розміром дефекту за ознакою локалізація дефекту наведено в таблиці 7.

Під час розгляду даних таблиці 7 виявлено, що технологія Masquelet у постраждалих із дефектами довгих кісток розмірами 2,5–4,99 см здебільшого використовувалася на дистальних сегментах передпліччя та гомілки — по 33,33 %, а на плечі та стегні по 16,67 %.

Найбільша питома вага дефектів довгих кісток розміром 5,0–9,99 см майже рівномірно розподілена за всіма сегментами по 26,09 %, окрім гомілки (21,73 %).

Кавітарні та дефекти розміром 10,0–14,99 см на верхній кінцівці в статистично значущому обсязі в нашому дослідженні не зустрічалися. Дефекти розміром 10,0–14,99 см на нижній кінцівці рівномірно розподілено по 50,00 %, а кавітарні переважають на гомілці в 5 разів.

Для встановлення вірогідності даних таблиці 7 проведено поліхоричний аналіз, виявлено, що між ознаками «розмір дефекту» та «локалізація дефекту» існує позитивний ( $\phi^2 = 0,4353$ ), сильний ( $C = 0,5507$ ), та вірогідний зв'язок ( $\chi^2 = 22,20$ ). Отже зазначені положення знаходяться в межах поля вірогідності.

Із дидактичної точки зору наводимо клінічний приклад застосування технології Masquelet у постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойових ушкоджень.

Клінічний приклад

Постраждалий 38 р., мінно-вибухова травма, відкритий перелом гомілки з дефектом кісток і м'яких тканин (рис. 2).

На 7-му добу виконано: дебридмент, корекцію АЗФ, встановлено цементний спейсер, рану закрито клаптом (рис. 3).

Через 2 тижні, на другому етапі лікування, було застосовано Masquelet Technique. Здійснено фіксацію пластиною, кісткову пластику СКТ (рис. 4).

### Обговорення

Під час дослідження виявлено, що ефективне застосування технології індукованої мембрани (Masquelet) залежить від результатів комплексної оцінки постраждалих за клініко-епідеміологічними ознаками (вік) та клініко-анатомічними характеристиками дефекту кістки (розмір і локалізація).

На таку залежність опосередковано вказували деякі закордонні науковці, але це стосувалося лише розміру дефекту, причому в разі травм мирного часу [7–9]. Нами встановлено вірогідну доцільність застосування методу індукованої мембрани в осіб віком до 40 років, що з нашої точки зору пов'язано з потужністю й інтенсивністю репаративних процесів кістки в людини. У відкритих і доступних огляду й аналізу джерел інформації нами не знайдено даних щодо цілеспрямованого вивчення використання технології Masquelet у постраждалих із дефектами довгих кісток у віковому аспекті саме внаслідок сучасних бойових ушкоджень.

Виявлено, що найчастіше технологія Masquelet застосовується за дефектів довгих кісток розміром від 5,0 до 9,99 см, а також 2,5–4,99 см. Досить рідко така технологія використовується за наявності дефекту 10–14,99 см і взагалі не вживається в разі дефектів більше 15 см. Такі результати загалом корелюють із даними світових джерел наукової інформації стосовно травми мирного

часу [10–12], але варто зауважити, що стосовно бойової травми така інформація практично відсутня. Останнім часом з'явилися вітчизняні публікації на цю тему, але вони стосуються здебільшого описових характеристик явища [5, 13].

На нашу думку, перевагою цього дослідження є те, що проведено комплексний аналіз застосування технології Masquelet за ознаками віку та розміру дефекту, що дозволило встановити залежність її використання від них. Результати дослідження вказують на те, що залучення такої технології за великих і кавітарних дефектів доцільно у віці 31–50 років. Також доведено залежність ефективного використання Masquelet від клініко-анатомічних ознак дефекту, причому найбільше її, незалежно від локалізації (за виключенням гомілки), потребували дефекти розміром 5,0–9,99 см, а на гомілці — кавітарні дефекти. Такі дані у світових джерелах наукової інформації в статистично значущому обсязі нами не знайдено [14, 15]. Ми вважаємо, що це об'єктивно пов'язано з обмеженнями застосування методу внаслідок детермінованості потужності репаративних процесів кісткової тканини.

Загалом необхідно зауважити, що для вирішення питання ефективного використання технології Masquelet у постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми необхідно та доцільно враховувати результати інтегрального аналізу клініко-епідеміологічних і клініко-анатомічних ознак ушкодження.

## Висновки

Застосування технології індукованої мембрани (Masquelet) доцільне в постраждалих із дефектами довгих кісток унаслідок бойової травми в молодому та середньому віці, що обумовлено віковою залежністю репаративних процесів кісткової тканини.

Існує вірогідна залежність ефективності та доцільності використання технології індукованої мембрани від розміру дефекту, найбільш необхідне застосування — за розмірів 5,0–9,99 см та кавітарних незалежно від самої локалізації дефекту.

Для ефективного й адекватного застосування технології індукованої мембрани (Masquelet) необхідно враховувати результати комплексного аналізу клініко-епідеміологічних і клініко-анатомічних ознак.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях планується провести аналіз застосування



Рис. 4. Зовнішній вигляд ушкодженої кінцівки (а); фотовідбитки рентгенограми після кісткової пластики СКТ (б)



Рис. 5. Фотовідбитки рентгенограми хворого. Через 3 міс. постраждалий мав змогу виконувати повне безболісне осьове навантаження. Зафіксовано інтеграцію кістково-го трансплантата

інших технологій хірургічного лікування кісткових дефектів унаслідок сучасної бойової травми.

Інформація про фінансування. Жодної вигоди у будь-якій формі не було і не буде отримано.

Внесок авторів. Гур'єв С. О. — обґрунтування напрямку та мети дослідження, загальне керівництво; Кушнір В. А. — аналіз матеріалів дослідження, формування списку літератури; Гаріян С. В. — написання основного тексту дослідження, висновки; Цибульський О. С. — збір матеріалів дослідження.

## Список літератури

1. Khomenko, I. P., Korol, S. O., Khalik, S. V., Shapovalov, V. Y., Yenin, R. V., Herasimenko, O. S., & Tertyshnyi, S. V. (2021). Clinical and epidemiological analysis of the structure of combat surgical injury during antiterrorist operation / Joint forces operation. *Ukrainian journal of military medicine*, 2(2), 5–13. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2021.2\(2\)-005](https://doi.org/10.46847/ujmm.2021.2(2)-005)
2. Trutyak, I., Los, D., Medzyn, V., Trunkvalter, V., & Zukovsky, V. (2022). Treatment of combat surgical trauma of the limbs in the conditions of modern war. *Proceeding of the Shevchenko Scientific Society. Medical sciences*, 69(2). <https://doi.org/10.25040/ntsh2022.02.16>
3. Yang, N., Ma, T., Liu, L., Xu, Y., Li, Z., Zhang, K., Wang, Q., & Huang, Q. (2023). Shortening/re-lengthening and nailing versus bone transport for the treatment of segmental femoral bone defects. *Scientific reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40588-6>
4. Fu, J., Wang, X., Wang, S., Chen, Z., Shen, J., Li, Z., & Xie, Z. (2023). Induced membrane technique combined with a retrograde intramedullary nail for the treatment of infected bone defects of the ankle. *Scientific reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34014-0>
5. Hrytsai, M., Kolov, H., Sabadosh, V., Vyderko, R., Polovy, A., & Hutsailiuk, V. (2024). Main surgical methods of critical tibial bone defects replacement (Literature review). *Terra orthopaedica*, 1(120), 42–49. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-120-1-42-49>
6. Guryev, S., Hariyan, S., Kushnir, V., & Tsybulsky, O. (2025). Application of surgical technologies for the treatment of victims with long bone defects due to modern combat trauma. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 25–30. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025425-30>
7. Gindraux, F., Rondot, T., De Billy, B., Zwetyenga, N., Fricain, J., Pagnon, A., & Obert, L. (2017). Similarities between induced membrane and amniotic membrane: Novelty for bone repair. *Placenta*, 59, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2017.06.340>
8. Hsu, C., Chen, S., Chan, S., & Yu, Y. (2020). The induced membrane technique for the management of segmental tibial defect or Nonunion: A systematic review and meta-analysis. *BioMed research international*, 2020(1). <https://doi.org/10.1155/2020/5893642>
9. Alford, A. I., Nicolaou, D., Hake, M., & McBride-Gagy, S. (2021). Masquelet's induced membrane technique: Review of current concepts and future directions. *Journal of orthopaedic research*, 39(4), 707–718. <https://doi.org/10.1002/jor.24978>
10. Wu, J., Bao, Q., Wang, S., Zhou, P., & Xu, S. (2025). Mechanisms of the Masquelet technique to promote bone defect repair and its influencing factors. *Chinese journal of traumatology*, 28(3), 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2024.04.003>
11. Rohilla, R., Sharma, P. K., Wadhvani, J., Das, J., Singh, R., & Beniwal, D. (2021). Prospective randomized comparison of bone transport versus Masquelet technique in infected gap nonunion of tibia. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 142(8), 1923–1932. <https://doi.org/10.1007/s00402-021-03935-8>
12. Musa, R. A., Shah, D. U., Makwana, V. R., Hadiya, A. K., Shah, P. K., & Bhavsar, N. M. (2021). Masquelet's induced membrane technique for the reconstruction of post-traumatic, open-grade distal femur fracture with bone defect. *Journal of orthopaedics, trauma and rehabilitation*. <https://doi.org/10.1177/2210491721992525>
13. Burianov, O., Kvasha, V., Yarmoliuk, Y., & Pasenko, M. (2025). Modern technologies for replacing bone tissue defects (bone transport, Masquelet): Literature review and meta-analysis. *Trauma*, 26(6), 453–463. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.6.26.2025.1060>
14. Pederiva, D., De Luca, L., Faldini, C., & Vergano, L. B. (2025). Masquelet's induced membrane technique in the upper limb: A systematic review of the current outcomes. *Journal of orthopaedics and traumatology*, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s10195-024-00815-w>
15. El Farhaoui, A., Benalia, K., Lachkar, A., Abdeljaouad, N., & Yacoubi, H. (2022). The induced membrane technique: A therapeutic option for managing bone defects in the upper extremity: Case series for 7 patients. *Annals of medicine & surgery*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104533>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>20.01.2026 | Отримано після рецензування<br>20.02.2026 | Прийнято до друку<br>22.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## APPLICATION OF SURGICAL TECHNOLOGIES FOR THE TREATMENT OF VICTIMS WITH LONG BONE DEFECTS DUE TO MODERN COMBAT TRAUMA. MESSAGE 2. INDUCED MEMBRANE TECHNOLOGY (MASQUELET TECHNIQUE)

S. Guryev<sup>1</sup>, S. Hariyan<sup>2</sup>, V. Kushnir<sup>1</sup>, O. Tsybulsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SI «Ukrainian Scientific and Practical Center for Emergency Care and Disaster Medicine of the Ministry of Health of Ukraine», Kyiv

<sup>2</sup> Ternopil Regional Clinical Hospital. Ukraine

\* Sergiy Guryev, MD, DMedSci, Prof.: gurevsergej1959@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0191-945X>

\* Serhiy Hariyan, MD, PhD: drhariyan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-2662-5756>

\* Vitalii Kushnir, MD, DMedSci: kv78@i.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4569-7246>

\* Oleksandr Tsybulskyi: tsybulsky.oleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0009-5310-3621>

УДК 616.728.3-089.843-089.48:303.442.3](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026112-18>

## Доцільність використання дренивання рани після тотального ендопротезування колінного суглоба, порівняльний аналіз

М. Л. Головаха<sup>1</sup>, В. Орлянський<sup>2</sup>, Є. О. Белих<sup>1</sup>, Е. Агаєв<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Запорізький державний медико-фармацевтичний університет. Україна

<sup>2</sup> Department of Orthopedic Surgery, Vienna Private Clinic. Austria

<sup>3</sup> Research Centre, Lindenhofgruppe AG, Bern, Switzerland

Diseases and injuries of the knee occupy a significant place in the structure of orthopedic pathology. The main method of knee arthritis of the III–IV degree is total knee arthroplasty (TKA). Purpose. To analyze the postoperative period after TKA without wound drainage. Methods. For the study, a homogeneous group of 140 patients was selected, their age ranged from 45 to 78 years, the diagnosis was knee arthritis of the III–IV degree. Patients were divided into 2 groups: study group — the wound was not drained (73 people), comparison group — the wound was drained (67). Results. Blood loss during surgery was comparable in both groups and ranged from 80 to 340 ml, with an average of  $(217.59 \pm 76.19)$  ml in the study group and  $(195.6 \pm 67.97)$  ml in the comparison group. No statistically significant difference was found in both groups ( $p > 0.05$ ,  $p = 0.16277$ ). A comparative analysis of the course of the postoperative period revealed a shorter treatment period in the study group. Refusal to drain the postoperative wound under conditions of stable hemostasis contributed to a faster recovery of hemoglobin and erythrocyte indices. ESR and CRP levels showed a tendency towards a faster reduction in inflammation in the study group. The postoperative management used did not show any differences in the healing time of the postoperative wound. The low intensity of postoperative pain according to VAS in the study group allowed to reduce the use of analgesics and shorten the patient's hospital stay by 2 days. Therefore, TKA without drainage of the postoperative wound can be considered as the method of choice. Conclusion. TKA without drainage of the wound after surgery did not cause an increase in postoperative complications in our series of operations. In addition, it reduced pain syndrome and, according to laboratory data, reduced the indicators of the inflammatory process. Keywords. Knee, drainage, surgical treatment, total knee arthroplasty.

Захворювання та травми колінного суглоба займають значне місце в структурі ортопедичної патології. Основним методом лікування гонартрозу III–IV ст. є тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТЕКС). Мета. Проаналізувати післяопераційний період після ТЕКС без дренивання рани. Методи. Для дослідження провели вибірку однорідної групи із 140 пацієнтів, їхній вік коливався від 45 до 78 років, діагноз — гонартроз III–IV ст. Пацієнтів розподілили на 2 групи: дослідження — рану не дренивали (73 особи), порівняння — рану дренивали (67). Результати. Крововтрата під час операції була порівняна в обох групах і склала від 80 до 340 мл, у середньому в групі дослідження  $(217,59 \pm 76,19)$  мл і  $195,6 \pm 67,97$  у групі порівняння. Статистично достовірної різниці в обох групах не виявлено ( $p > 0,05$ ,  $p = 0,16277$ ). Порівняльний аналіз перебігу післяопераційного періоду виявив скорочення терміну лікування в групі дослідження. Відмова від дренивання післяопераційної рани за умов стабільного гемостазу сприяла швидшому відновленню показників гемоглобіну й еритроцитів. Рівні ШОЕ та СРБ показали тенденцію до швидшого зменшення запалення в групі дослідження. Тактика післяопераційного ведення хворих, яку використовували, не показала відмінностей у термінах загоєння післяопераційної рани. Низька інтенсивність післяопераційного болю за даними ВАШ у групі дослідження дозволила знизити застосування анагетиків і скоротити термін перебування хворого в стаціонарі на 2 дні. Отже можна розглядати ТЕКС без дренивання післяопераційної рани як метод вибору. Висновок. ТЕКС без дренивання рани після операції не спричинило збільшення післяопераційних ускладнень у нашій серії операцій. Окрім того зменшило больовий синдром і знизило, за лабораторними даними, показники запального процесу.

**Ключові слова.** Колінний суглоб, дренаж, хірургічне лікування, тотальне ендопротезування колінного суглоба

## Вступ

Захворювання та травми колінного суглоба займають значне місце в структурі ортопедичної патології. Основним методом лікування гонартрозу III–IV ст. є ендопротезування. Зі збільшенням кількості таких операцій неминуче зростає і кількість післяопераційних ускладнень, значна частка яких припадає на інфекційні [1].

Численні публікації свідчать, що одним зі способів потрапляння інфекції в рану є дренажна трубка [1, 2, 14], а тривале перебування пацієнта після операції в стаціонарі може спричинити ризик розвитку внутрішньолікарняної інфекції.

Активне дренивання післяопераційної рани широко використовується під час проведення різних втручань — через негативний тиск активність дренивання підвищується. Теоретично це приводить до зменшення післяопераційної гематоми, больового синдрому та набряку, а також прискорює терміни загоєння рани та знижує ризик розвитку інфекції [4]. Деякі автори [3–7, 16] стверджують, що переваги активного дренивання набагато завищені. Відмова від нього зменшує крововтрату та ризик ретроградного інфікування рани [8, 10, 12, 15].

Мета: проаналізувати післяопераційний період після тотального ендопротезування колінного суглоба без дренивання рани.

## Матеріал і методи

Для дослідження провели вибірку щодо однорідної групи з 140 пацієнтів, яким у період із початку 2017 до лютого 2022 р. виконано тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТЕКС). Роботу схвалено етичним комітетом Запорізького державного медико-фармацевтичного університету (протокол № 14 від 26.11.2025) залежно до правки ICH GCP, Гельсінської декларації прав людини та біомедицини від 1977 р., а також чинного законодавства України. Усі залучені пацієнти надали письмову й усну згоду.

Вік хворих становив від 45 до 78 років. Під час госпіталізації було діагностовано гонартроз III–IV ст. первинний або вторинний. Використані такі критерії виключення: тромбоз глибоких вен (ТГВ) в анамнезі; прийом будь-яких препаратів для розрідження крові на постійній основі через супутні захворювання; анемія, яка потребувала передопераційної корекції, зокрема гемотрансфузії; загострення будь-якої коморбідної патології після операції; інші соматичні ускладнення.

Втручання виконані одним хірургом. Розподіл хворих із уточненим діагнозом наведено в табл. 1–3. Пацієнтів розділили на 2 групи залежно від дренивання після операційної рани: дослідження — рана без дренажу (оперовані протягом 2019–2022 років); порівняння — рану дренивали (оперовані у 2017–2018 роках).

Хворим групи порівняння встановлювали ПХВ один дренаж (полівінілхлоридний (ПВХ)) № 15 у порожнину оперованого суглоба. Дренивання здійснювали протягом 1–2 діб.

В обох групах не було відхилень у показниках загального аналізу крові та коагулограми до операції, які могли б вказати на проблему в системі згортання.

Обидві групи були подібні за статтю, віком, первинним діагнозом, типом імплантатів та антимікробною профілактикою (табл. 1–3).

Індекс маси тіла (ІМТ) коливався від 25 до 38 без суттєвих відмінностей між пацієнтами обох груп ( $p > 0,05$ ), під час операції не використовували гемостатичний турнікет. В обох групах застосовували транексанову кислоту 1 000 мл за 30 хв до втручання, а також антибактеріальну профілактику амоксициліном, захищеним клавулановою кислотою 1,2 г за 30 хв до операції та далі протягом 72 год. Профілактику тромбоемболічних ускладнень здійснювали еноксапарином у дозі 40 мг на добу з передопераційним стартом і далі до 35 діб після ТЕКС.

Знеболення після операції: 1 доба — блокада стегнового нерва, декскетопрофен 50 мг в/в 2 рази на день, парацетамол 1 000 мг внутрішньовенно 3 рази на день, диклофенак 75 мг в/м раз на день; 2 — диклофенак 75 мг в/м раз на день, декскетопрофен 50 мг в/в 2 рази на день, парацетамол застосовували на вимогу пацієнта в знеболюванні; 3 — залишався лише декскетопрофен.

У післяопераційному періоді проведено порівняльний аналіз значень загального аналізу крові, температури тіла пацієнтів, больового синдрому за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ). Контроль проводили напередодні оперативного втручання, на 1-шу добу та в день виписки хворого. Активізацію пацієнтів обох груп здійснювали наступного ранку. Дренаж видаляли через 24–48 год. після втручання в групі порівняння.

Після ТЕКС спостерігали за хворими для визначення виникнення ранніх інфекційних ускладнень в перші 6 міс.

Статистична обробка показників виконувалася за допомогою ліцензійного пакета «Statistica», версія

Таблиця 1

## Розподіл пацієнтів обох груп за попереднім діагнозом

| Група               |      |       |                     |      |       | р      |
|---------------------|------|-------|---------------------|------|-------|--------|
| дослідження         |      |       | порівняння          |      |       |        |
| діагноз             | абс. | %     | діагноз             | абс. | %     |        |
| Гонартроз первинний | 55   | 75,34 | Гонартроз первинний | 48   | 71,64 | > 0,05 |
| Гонартроз вторинний | 18   | 24,66 | Гонартроз вторинний | 19   | 28,36 | > 0,05 |
| Усього              | 73   | 100   | Усього              | 67   | 100   | —      |

Таблиця 2

## Розподіл пацієнтів обох груп за віком

| Група       |      |       |             |      |       | р      |
|-------------|------|-------|-------------|------|-------|--------|
| дослідження |      |       | порівняння  |      |       |        |
| Вік, роки   | абс. | %     | Вік, роки   | абс. | %     |        |
| 30–50       | 9    | 12,32 | 30–50       | 8    | 11,94 | > 0,05 |
| 51–60       | 17   | 23,29 | 51–60       | 14   | 20,90 | > 0,05 |
| 61–71       | 30   | 41,10 | 61–71       | 30   | 44,78 | > 0,05 |
| 71 і старше | 17   | 23,29 | 71 і старше | 15   | 22,39 | > 0,05 |
| Усього      | 73   | 100   | Усього      | 67   | 100   | —      |

Таблиця 3

## Розподіл пацієнтів обох груп за статтю

| Група       |      |       |            |      |       | р      |
|-------------|------|-------|------------|------|-------|--------|
| дослідження |      |       | порівняння |      |       |        |
| стать       | абс. | %     | стать      | абс. | %     |        |
| Жіноча      | 52   | 71,23 | Жіноча     | 51   | 76,12 | > 0,05 |
| Чоловіча    | 21   | 28,77 | Чоловіча   | 16   | 23,88 | > 0,05 |
| Усього      | 73   | 100   | Усього     | 67   | —     | —      |

13. У процесі аналізу використали методи параметричної та непараметричної варіаційної статистики. Достовірність результатів (для даних, що відрізняються від нормального закону розподілу) оцінювали за допомогою непараметричних критеріїв: U-критерій Манна-Уїтні (для двох незалежних груп), T-критерій Вілкінсона (для кількох залежних груп).

### Результати

Крововтрата в операційній була порівняна в обох групах і склала від 110 до 320 мл, у середньому в групі дослідження ( $217,59 \pm 76,19$ ) мл і  $195,6 \pm 67,97$  у групі порівняння. Статистично достовірної різниці в обох групах не виявлено ( $p > 0,05$   $p = 0,16277$ ). Показники загального аналізу крові в першу добу та день виписки показали суттєві зміни; гемоглобін у післяопераційному періоді достовірно вищий у пацієнтів без використання дренажу (табл. 4). Показники еритроцитів після операції значуще відрізнялися

на користь групи дослідження, що характеризує меншу крововтрату (табл. 5). Випадків ранньої перипротезної інфекції в обох групах хворих не було зафіксовано.

Цікавою виявилася динаміка показників запального процесу (ШОЕ та СРБ) після операції (табл. 6, 7). До втручання їхній рівень достовірно не відрізнявся в обох групах. Після та на момент виписки ми констатували значно менші значення запалення в групі пацієнтів, де проведено втручання без дренивання післяопераційної рани (табл. 6, 7).

Зниження показників групи порівняння пов'язували з крововтратою по дренажу. Кількість ексудату дуже сильно варіювала: 1-ша доба — від 80 до 230 мл, 2-га — від 50 до 110 мл, що в середньому склало від 130 до 340 мл післяопераційної крововтрати.

Температура тіла у хворих групи дослідження під час усього терміну перебування в стаціонарі була в діапазоні від мінімальної  $36,3$  °С, до максимальної  $37,9$  °С. У другій групі вона коливалася

Таблиця 4

## Показники гемоглобіну (г/л) до і після операції в пацієнтів обох груп

| Показник   | Гемоглобін                     |                                |                                |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|  | до операції                    | через добу після операції      | під час виписки                |
| Середня ± стандартна похибка (M ± m):<br>– без дренажу;<br>– із дренажем | 134,38 ± 3,41<br>137,42 ± 3,58 | 121,81 ± 4,19<br>120,96 ± 4,84 | 119,81 ± 3,25<br>111,62 ± 3,68 |
| U-критерій<br>Манн-Уїтні (p)   | p > 0,05<br>(p = 0,658362)     | p > 0,05<br>(p = 0,153830)     | p < 0,05<br>(p = 0,0002458)    |

Таблиця 5

Показники еритроцитів (\*10<sup>12</sup> л) до і після операції в пацієнтів обох груп

| Показник   | Еритроцити                 |                            |                              |
|--|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
|  | до операції                | через добу після операції  | під час виписки              |
| Середня ± стандартна похибка (M ± m):<br>– без дренажу;<br>– із дренажем | 4,35 ± 0,07<br>4,28 ± 0,06 | 4,12 ± 0,05<br>4,01 ± 0,04 | 3,69 ± 0,06<br>3,56 ± 0,05   |
| U-критерій<br>Манн-Уїтні (p)   | p > 0,05<br>(p = 0,0582)   | p < 0,05<br>(p = 0,000299) | p < 0,05<br>(p = 0,00015727) |

Таблиця 6

## Показники ШОЕ (мм/год) до і після операції в пацієнтів обох груп

| Показник   | Швидкість осідання еритроцитів |                              |                              |
|--|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|  | до операції                    | через добу після операції    | під час виписки              |
| Середня ± стандартна похибка (M ± m):<br>– без дренажу;<br>– із дренажем | 10,38 ± 1,26<br>9,89 ± 0,94    | 51,83 ± 4,18<br>67,08 ± 5,61 | 48,72 ± 4,11<br>59,25 ± 3,39 |
| U-критерій<br>Манн-Уїтні (p)   | p > 0,05<br>(p = 0,164)        | p < 0,05<br>(p = 0,000076)   | p < 0,05<br>(p = 0,000045)   |

Таблиця 7

## Показники СРБ (мг/л) до і після операції в пацієнтів обох груп

| Показник   | С-реактивний білок         |                                |                             |
|--|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|  | до операції                | через добу після операції      | під час виписки             |
| Середня ± стандартна похибка (M ± m):<br>– без дренажу;<br>– із дренажем | 6,48 ± 3,98<br>7,65 ± 2,11 | 88,25 ± 16,98<br>97,18 ± 15,43 | 48,76 ± 8,37<br>74,4 ± 9,16 |
| U-критерій<br>Манн-Уїтні (p)   | p > 0,05<br>(p = 0,095839) | p > 0,05<br>(p = 0,000593)     | p < 0,05<br>(p = 0,000279)  |

в діапазоні від мінімальної 36,5 °С до максимальної 39,1 °С. При цьому ми відзначили достовірно меншу максимальну температуру тіла пацієнтів, проведених без дренивання операційної рани (табл. 8). Причому у 80 % хворих групи порівняння виявлено разове підвищення температури до 38–39 °С після видалення дренажу.

Аналіз оцінки болю за ВАШ показав, що у пацієнтів групи дослідження максимальне значення було 5 балів, порівняння — 8 (контроль проводили напередодні оперативного втручання, на першу добу та в день виписки хворого).

Активізацію пацієнтів здійснювали наступного ранку після операції. Хворі пересувалися за допомогою милиць із максимально можливим навантаженням на оперовану ногу під контролем фахівця з фізичної реабілітації. Активність у пацієнтів, яким не встановлювали дренаж, була достовірно кращою (на 2 доби в середньому) (табл. 9).

Незважаючи на те, що застосування дренажу під час хірургічних втручання на колінному суглобі вже не є рутинною технікою, у нашому дослідженні ми виявили й інші ефекти, спричи-

нені активним дренажуванням. Усі хворі вертикалізувалися та навчалися ходьби наступної доби після операції. Проте збільшення тривалості перебування у вертикальному положенні пацієнтів групи дослідження та відсутність проблем, пов'язаних із наявністю дренажної трубки, показало зниження болю за ВАШ, і, відповідно, менше застосування анальгетиків «на вимогу». Так, хворі не потребували додаткового знеболювання порівняно з контрольною групою, де протягом 2–3 діб додатково вводили парацетамол 1 000 мг (за потребою), що дозволяло їх раніше виписувати зі стаціонару в середньому на 2 дні (табл. 9). На перев'язках у 12 пацієнтів групи дослідження відзначали наявність невеликих підшкірних гематом, які не вплинули на терміни загоєння післяопераційної рани. Під час подальшого спостереження у перший рік після операції не зафіксовано ознак інфекційних ускладнень в обох групах.

Отже, виявлено, що відсутність дренажування рани після тотального ендопротезування колінного суглоба в разі стабільного гемостазу не приводить до збільшення ускладнень і порушення загоєння післяопераційної рани.

### Обговорення

Використання дренажів після планових оперативних утручань все частіше стає предметом дискусії. Немає чітких критеріїв, які дозволять дати загальні рекомендації до їхнього застосування. К. Zhou із співавт. зазначають, що за неускладненого ендопротезування колінного суглоба можна відмовитися від дренажування рани [16]. Н. W. Jones із співавт. відмітили неефективність

реінфузії дренажних еритроцитів [8]. Найчастішим аргументом на користь дренажування є загроза накопичення гематоми та ризик приєднання інфекції. Більшість експертів на сьогодні вже не підтримують це побоювання [1, 2, 11, 13]. Усі дослідження та повсякденний досвід свідчать про збільшення крововтрати за рахунок використання дренажів. Реінфузія аутологічних еритроцитів із дренажної крові не показала високої ефективності [8, 9, 11]. Публікація М. Basilico із співавт. доводить, що післяопераційне дренажування після ТЕКС є рутинною процедурою для ортопедичних операцій і вважається корисною практикою в післяопераційному періоді, але використання дренажу є суперечливим [2]. Систематичний огляд 30 статей щодо ТЕКС [2] не виявив суттєвих переваг, пов'язаних із використанням дренажу рани після ендопротезування. Із точки зору болю, крововтрати, набряку, післяопераційного діапазону рухів, ускладнень рани, глибокої інфекції та перебування в лікарні переваги дренажування відсутні.

У нашому дослідженні порівняльний аналіз перебігу післяопераційного періоду хворих у ранніх термінах після ендопротезування колінного суглоба виявив скорочення терміну лікування в стаціонарі у групі без дренажування суглоба. Виявлено, що в пацієнтів групи дослідження активізація відбувалася швидше через зменшення больового синдрому — відсутній страх висмикнути дренаж під час ходьби. Наявність відокремлюваного в пляшці психологічно обмежувала рухову діяльність хворих групи (за словами більшості). Відмова від дренажування післяопераційної рани за умов стабільного гемостазу допомогла отримати кращу динаміку відновлення показників гемогло-

Таблиця 8

Показники максимальної температури тіла після операції в пацієнтів обох груп

| Показник   | Максимальна температура тіла (°C)     |
|--|---------------------------------------|
| Середня ± стандартна похибка (M ± m):<br>– без дренажу;<br>– із дренажем | 37,12 ± 0,40<br>37,47 ± 0,58          |
| U-критерій<br>Манн-Уїтні (p)   | p < 0,05<br>(p = 0,00000002692225707) |

Таблиця 9

Тривалість перебування в стаціонарі після операції

| Показник   | Час (доба)                  |
|--|-----------------------------|
| Середня ± стандартна похибка (M ± m):<br>– без дренажу;<br>– із дренажем | 2,89 ± 0,16<br>4,69 ± 0,13  |
| U-критерій<br>Манн-Уїтні (p)   | p < 0,05<br>(p = 0,0000000) |

біну й еритроцитів крові в пацієнтів. Зміни рівня ШОЕ та СРБ показала тенденцію до швидшого зменшення запалення в хворих без дренивання післяопераційних ран. Тактика післяопераційного ведення не показала відмінностей у термінах загоєння післяопераційної рани у групах. Низька інтенсивність післяопераційного болю за даними ВАШ у досліджуваній групі дозволила знизити споживання аналгетиків і скоротити термін перебування хворого в стаціонарі на 2 дні.

Наше дослідження мало на меті прояснити аспект дренивання рани після ендпротезування колінного суглоба. Зважаючи на наведені результати, можна розглядати ендпротезування колінного суглоба без дренивання післяопераційної рани як метод вибору ведення в післяопераційному періоді. Дійсно, якась частина пацієнтів, які мають розлади коагуляції або ризику інфекції, потребують використання дренажу. На сьогодні ми здебільшого утримуємося від використання дренивання післяопераційної рани після ТЕКС.

## Висновок

Ендпротезування колінного суглоба без використання дренивання рани після операції не привело до збільшення післяопераційних ускладнень у нашій серії операцій, зменшило больовий синдром та знизило, за лабораторними даними, показники запального процесу.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Визначити шляхи для скорочення термінів ранньої медичної реабілітації із повним навантаженням на оперовану кінцівку.

Інформація про фінансування. Робота виконана в ініціативному порядку та не отримувала зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Головаха М. Л. — постановка мети та завдань дослідження, написання рукопису; Орлянський В. — аналіз первинного матеріалу; Белих Є. О. — облік первинного матеріалу та статистичний аналіз; Агаєв Е. — рецензування рукопису та його редакція до подання в журнал.

## Список літератури

- Bondarenko S., & Parvizi J. Recommendations of the world congress of experts on joint endoprosthesis. (2025). Kharkiv: FOP Ruban V. V.
- Basilico, M., Vitiello, R., Liuzza, F., Minutillo, F., Ruberto, P., Matrangolo, M. R., Palmacci, O., Maccauro, G., & Malerba, G. (2020). Efficacy of postoperative drainage in total knee arthroplasty: Review of the literature. *Orthopedic Reviews*. <https://doi.org/10.4081/or.2020.8663>
- Cooper, C., Antle, O., Lowerison, J., Dersch-Mills, D., & Kenny, A. (2021). Impact of weight-band dosing of Tinzaparin for venous thromboembolism prophylaxis on persistent wound drainage in adult patients undergoing hip and knee arthroplasty. *Annals of pharmacotherapy*, 56(3), 290–296. <https://doi.org/10.1177/10600280211024294>
- Fu, T., Ren, S., & Nie, Y. (2024). The effects of drainage tube on pain and functional recovery after unicompartmental knee arthroplasty. *Acta ortopédica Brasileira*, 32(1). <https://doi.org/10.1590/1413-785220243201e266853>
- Golovakha, M., Kirichenko, V., Gritsenko, A., Belykh, E., Titarchuk, R., Kudin, S., & Didenko, I. (2020). Wound drainage after total hip arthroplasty. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (4), 5–11. <https://doi.org/10.15674/0030-5987201945-11>
- Hellums, E. K., Lin, M. G., & Ramsey, P. S. (2007). Prophylactic subcutaneous drainage for prevention of wound complications after cesarean delivery—a metaanalysis. *American journal of obstetrics and gynecology*, 197(3), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2007.05.023>
- Hong, K., Pan, J., Yang, W., Luo, M., Xu, S., & Liu, J. (2016). Comparison between autologous blood transfusion drainage and closed-suction drainage/no drainage in total knee arthroplasty: A meta-analysis. *BMC musculoskeletal disorders*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-016-0993-z>
- Jones H. W, Savage L., White C., Goddard R., Lumley H., Kashif F., & Gurusany K. (2004). Postoperative autologous blood salvage drains—are they useful in primary uncemented hip and knee arthroplasty? A prospective study of 186 cases. *Acta orthopaedica Belgica*, 70(5):466–73
- Kosins, A. M., Scholz, T., Cetinkaya, M., & Evans, G. R. (2013). Evidence-based value of subcutaneous surgical wound drainage. *Plastic and reconstructive surgery*, 132(2), 443–450. <https://doi.org/10.1097/prs.0b013e3182958945>
- Lachance, A., Shahsavari, S., Sogard, O., McDonald, J., Stilwell, M., & Lutton, J. (2024). Suction drain usage has no benefit following revision total hip and knee arthroplasty. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 144(8), 3565–3571. <https://doi.org/10.1007/s00402-024-05474-4>
- Li, T., Zhuang, Q., Weng, X., Zhou, L., & Bian, Y. (2013). Non-continuous versus continuous wound drainage after total knee arthroplasty: A meta-analysis. *International orthopaedics*, 38(2), 361–371. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2105-0>
- Maliarov, A., Newman, N., Sabouret, P., Al-Shakfa, F., Chergui, S., & Lavoie, F. (2023). Suction drainage in total knee replacement does not influence early functional outcomes or blood loss: A randomized control trial. *Arthroplasty*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s42836-022-00158-z>
- Maniar, R. N., Pradhan, P., Bhatnagar, N., Maniar, A., Bidwai, R., & Bindal, P. (2019). Role of suction drain after knee arthroplasty in the Tranexamic acid era: A randomized controlled study. *Clinics in orthopedic surgery*, 11(1), 73. <https://doi.org/10.4055/cios.2019.11.1.73>
- Mårdian, S., Perka, C., & Matziolis, G. (2013). Wound drainage in primary knee arthroplasty - a prospective randomized study. *Acta chirurgiae orthopaedicae et traumatologiae Cechoslovaca*, 80(2), 114–117. <https://doi.org/10.55095/achot2013/017>
- So-Osman, C., Nelissen, R. G., Koopman-van Gemert, A. W., Kluyver, E., Pöll, R. G., Onstenk, R., Van Hiltzen, J. A., Jansen-Werkhoven, T. M., Van den Hout, W. B., Brand, R., & Brand, A. (2014). Patient blood management in elective total hip- and knee-replacement surgery (Part 2). *Anesthesiology*, 120(4), 852–860. <https://doi.org/10.1097/aln.000000000000135>
- Zhou, K., Wang, H., Li, J., Wang, D., Zhou, Z., & Pei, F.

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>10.06.2025 | Отримано після рецензування<br>08.10.2025 | Прийнято до друку<br>10.10.2025 |
|---|---|---------------------------------|

## WOUND DRAINAGE AFTER TOTAL KNEE ARTHROPLASTY, COMPARATIVE ANALYSIS

M. L. Golovakha <sup>1</sup>, V. Orlyansky <sup>2</sup>, E. O. Bilykh <sup>1</sup>, E. Agayev <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Zaporizhzhya State Medical and Pharmaceutical University. Zaporizhzhia, Ukraine

<sup>2</sup> Department of Orthopedic Surgery, Vienna Private Clinic, Pelikangasse 15, 1090, Vienna, Austria

<sup>3</sup> Research Centre, Lindenhofgruppe AG, Bern, Switzerland

\* Maxim Golovakha, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: [golovahaml@gmail.com](mailto:golovahaml@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2835-9333>

\* Weniamin Orlyanski, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: [orlyanski@hotmail.com](mailto:orlyanski@hotmail.com)

\* Yevhen Bilykh, MD: [dr.bilykh@gmail.com](mailto:dr.bilykh@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-4332-529X>

\* Emin Aghayev, MD, MSc, PD: [aghayev@eurospine.org](mailto:aghayev@eurospine.org)

PREVIEW

УДК 616.728.3-089.843:612.76](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026119-26>

## Визначення фенотипу колінного суглоба в українській популяції за CPAK-класифікацією

М. Д. Мороз<sup>1</sup>, Р. А. Козак<sup>1</sup>, О. А. Костогриз<sup>1</sup>, Ю. О. Костогриз<sup>1</sup>, М. Ю. Кириленко<sup>2</sup><sup>1</sup> ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ<sup>2</sup> Діагностичний центр «М24», Київ, Україна

Native coronal alignment of the knee joint demonstrates marked individual variability, which influences total knee arthroplasty planning and functional outcomes. The CPAK classification allows systematization of these anatomical variations based on the parameters aHKA and JLO. Although CPAK phenotypes have been described in several populations, data regarding the Ukrainian population have so far been lacking. Objective. To determine the characteristics of native lower-limb alignment and CPAK phenotypes of the knee joint in the Ukrainian population. Methods. A total of 500 full-length standing radiographs of the lower limbs were analyzed: 300 in the healthy group and 200 in the group with Kellgren-Lawrence grade III–IV osteoarthritis. LDFA and MPTA were measured, aHKA and JLO were calculated in accordance with CPAK principles, and knees were subsequently classified within the 3×3 CPAK matrix. Results. In the healthy group, the most common CPAK phenotypes were type II (24.7 %), type I (21.7 %), and type V (21.0 %). Neutral aHKA was observed in 47.3 %, varus in 39.3 %, and valgus in 13.3 %. The most frequent JLO orientation was apex distal (50.3 %). In sex-specific subgroups, type II predominated in males (28 %) and type V in females (25 %). In the osteoarthritis group, varus aHKA values predominated (58 %), with CPAK phenotypes I (35.5 %), IV (22 %), and II (19.5 %) being most common. Conclusions. This study describes for the first time the distribution of CPAK phenotypes of the knee joint in the Ukrainian population. Among healthy individuals, CPAK phenotypes I, II, and V were most prevalent, with neutral alignment observed in 47 %. In patients with grade III–IV osteoarthritis, a marked shift toward varus alignment was noted, with varus phenotypes accounting for 58 %, whereas neutral phenotypes were observed in only 34 %. These findings reflect population-specific patterns of native coronal knee alignment and may serve as a basis for further research into the clinical relevance of CPAK phenotypes and their impact on outcomes of total knee arthroplasty. Keywords. Knee joint, alignment, CPAK, aHKA, JLO, knee joint phenotypes.

Нативне вирівнювання колінного суглоба має виражену індивідуальну варіабельність, що впливає на планування тотального ендопротезування та кінцевий функціональний результат. Класифікація «Coronal Plane Alignment of the Knee» (CPAK) дозволяє систематизувати ці анатомічні варіанти на основі параметрів aHKA та JLO. Мета. Визначити особливості нативного вирівнювання нижньої кінцівки та CPAK-фенотипів колінного суглоба в українській популяції. Методи. Проаналізовано 500 панорамних рентгенограм нижніх кінцівок, які розподілено на 2 групи: 300 — група 1 — умовно здорові, 200 — 2 (остеоартроз III–IV ст. за Kellgren-Lawrence). Вимірювали mLDFA та mMPTA, розраховували aHKA та JLO згідно з принципами CPAK-класифікації, після чого виконували розподіл фенотипів у матриці CPAK 3 × 3. Результати. У здоровій групі найпоширенішими CPAK-фенотипами були тип II (24,7 %), I (21,7 %) та тип V (21,0 %). Нейтральний тип aHKA визначався у 47,3, варусний — у 39,3, вальгусний — у 13,3 %. Найчастіший варіант JLO — apex distal (50,3 %). У статевих підгрупах домінував тип II у чоловіків (28 %) та V у жінок (25 %). У групі остеоартрозу відзначалося переважання варусних значень aHKA (58 %) із домінуванням фенотипів I (35,5 %) та IV (22 %). Висновок. На основі нашого дослідження описано розподіл CPAK-фенотипів колінного суглоба в українській популяції. У групі 1 найпоширенішими були I, II та V типи з переважанням нейтрального вирівнювання у 47 %, а у 2 — I, II та IV типи, проте спостерігалось виразне зміщення в бік варусних варіантів: їхня частка була до 58 %, тоді як частота нейтральних фенотипів склала лише 34 %. Отримані результати відображають особливості нативного фронтального вирівнювання нижньої кінцівки й можуть слугувати основою для подальших досліджень, спрямованих на вивчення клінічного значення CPAK-фенотипів та їхнього впливу на результати тотального ендопротезування колінного суглоба.

Ключові слова. Колінний суглоб, вирівнювання, CPAK, aHKA, JLO, фенотипи колінного суглоба

## Вступ

Упродовж багатьох років одним із основних принципів ендопротезування колінного суглоба (КС) вважалося відтворення стабільного суглоба з «нейтральною» віссю нижньої кінцівки. Такий підхід тривалий час розглядався як універсальний для отримання передбачуваних клінічних результатів. Незважаючи на високу ефективність цього методу, до 20 % пацієнтів залишаються незадоволеними результатом лікування. Найбільш поширеними скаргами в післяопераційному періоді є постійний больовий синдром, обмеження амплітуди рухів і відсутність очікуваного функціонального відновлення [1, 2]. Одним із можливих пояснень таких симптомів є неврахування індивідуальних анатомічних особливостей пацієнта.

Сучасні дослідження показали, що нейтральне вирівнювання нижньої кінцівки не є типовим для всіх хворих [3, 4], тому спроба привести вісь кінцівки до нейтрального положення під час хірургічного втручання може потребувати надмірного обсягу кісткових резекцій або додаткових м'якотканинних релізів. За таких умов нативна біомеханіка суглоба порушується, що клінічно проявляється довшим і складнішим процесом відновлення після операції.

За останнє десятиліття з'явилася значна кількість публікацій щодо аналізу нативного випрямлення КС. Їхні результати переконливо свідчать, що таке вирівнювання КС є дуже варіабельним, а помітна частка здорових людей має природну варусну або вальгусну вісь нижньої кінцівки [3–7]. Окремі роботи також були спрямовані на вивчення популяційних і статевих відмінностей у фенотипах КС. Дослідження М. Т. Hirschmann та співавт., Е. Sappey-Marinier, Т. Kobayashi та ін. визначили, що частота варусних, вальгусних і нейтральних фенотипів суттєво відрізняється залежно від етнічної групи та статі та може визначати характерні особливості біомеханіки КС [8–12].

Необхідність брати до уваги цю анатомічну варіабельність сприяла розвитку персоналізованих підходів до позиціонування імплантатів, в основі яких лежить урахування морфологічних фенотипів нижньої кінцівки, як важливого елемента передопераційного планування. Завдання ускладнюється тим, що в процесі прогресування артрозу нативне вирівнювання нижньої кінцівки змінюється, зазвичай у бік збільшення наяв-

ної деформації, що робить визначення початкової анатомічної осі надзвичайно складним.

Однією з найперспективніших сучасних методик, що дозволяє системно оцінювати індивідуальне фронтальне вирівнювання колінного суглоба, є класифікація «Coronal Plane Alignment of the Knee» (CPAK), у якій ключову роль відіграють арифметичний кут «стегно – коліно – надп'ятова кістка» (arithmetic Hip – Knee – Ankle angle — aHKA) та нахил суглобової лінії (Joint Line Orientation — JLO) [13].

У 2020 році S. J. MacDessi та співавт. запропонували концепцію aHKA та довели, що цей показник є надійним маркером конституційного вирівнювання колінного суглоба, незалежно від наявності артрозних змін [14]. Згодом, у 2021 році, введено поняття JLO, яке описує орієнтацію суглобової лінії за трьома чіткими категоріями — «верхівка проксимально», «верхівка дистально» та «нейтрально». Це дозволило усунути плутанину між поняттями фронтального вирівнювання кінцівки та нахилом самої суглобової поверхні.

Поєднання aHKA та JLO дало можливість сформуванню класифікації CPAK, яка наведена у вигляді матриці  $3 \times 3$  та охоплює 9 морфологічних фенотипів КС. Ця система дозволяє точніше охарактеризувати індивідуальні варіанти вирівнювання та може слугувати орієнтиром для персоналізованих стратегій.

Попри значну кількість публікацій щодо морфологічного фенотипу КС у різних популяціях, інформації щодо особливостей фронтального вирівнювання серед українського населення на сьогодні не має. Це обмежує можливість коректного порівняння анатомічних показників та збільшує потенційний вплив фенотипових особливостей КС на результати хірургічного лікування.

В Україні останні роки зростає клінічний інтерес до індивідуалізації хірургічної тактики, що підтверджується національними дослідженнями стосовно відновлення нативної кінематики, оптимізації позиціонування імплантатів і порівняння різних концепцій вирівнювання під час тотального ендопротезування [16–19].

З огляду на це, доцільним є вивчення розподілу CPAK-фенотипів у вітчизняній популяції як анатомічної основи для обґрунтованого індивідуалізованого планування хірургічного лікування, із подальшим зіставленням отриманих результатів із даними, наведеними в європейських дослідженнях.

Мета: визначити особливості нативного вирівнювання нижньої кінцівки та СРАК-фенотипів колінного суглоба в українській популяції.

### Матеріал і методи

Роботу виконували на базі ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» та діагностичного центру «М24» у період з серпня 2024 до жовтня 2025 року.

До аналізу було відібрано 500 рентгенограм КС пацієнтів української популяції, розподілених на дві групи відповідно до рентгенологічного стану суглоба. До групи 1 ( $n = 300$ ) включали рентгенограми осіб віком від 18 років, які не мали скарг з боку КС, ознак їхньої деформацій або перенесених травм, а також хірургічних втручань на нижніх кінцівках в анамнезі. Обов'язковою умовою була повна відсутність рентгенологічних ознак патології КС. Група складалася зі 166 чоловіків і 134 жінок; середній вік становив  $(44,95 \pm 13,17)$  року ( $M \pm SD$ ).

До групи 2 ( $n = 200$ ) включали рентгенограми пацієнтів із остеоартрозом III–IV ст. за класифікацією Kellgren-Lawrence. Із цієї групи виключали КС із посттравматичним остеоартрозом, перенесеним септичним артритом або станом після будь-якого оперативного втручання. Не включали також осіб із вираженими дефектами кісткової тканини виростків стегнової чи великогомілкової кісток, фронтальними деформаціями та контрактурами понад  $20^\circ$ , оскільки такі зміни могли впливати на точність рентгенологічних вимірювань. Демографічно група складалася з 89 чоловіків і 111 жінок; середній вік становив  $(58,98 \pm 11,34)$  років ( $M \pm SD$ ). Беручи до уваги, що після завершення скелетного росту основні анатомічні параметри кісткових структур нижньої кінцівки залишаються відносно стабільними, виявлену різницю у віці між групами не розглядали як чинник, що має вирішальний вплив на результати рентгенологічного аналізу.

Усім учасникам дослідження виконано осьові знімки в положенні стоячи з рівномірним навантаженням на обидві нижні кінцівки, за умов максимального розгинання в КС та орієнтації наколінків уперед. Контроль ротації нижніх кінцівок здійснювали шляхом оцінювання симетричності анатомічних орієнтирів, зокрема контуру малих вертлюгів стегнових кісток і положення наколінків.

В усіх випадках проводили стандартизовану побудову анатомічних і механічних осей та вимірювання основних референтних кутів відповідно до протоколу Paley (рис. 1) [20].

Вивчення рентгенологічних показників у групі здорових осіб виконувалося лікарем-рентгенологом із використанням програмного забезпечення QxLink (v3.3.12) відповідно до стандартизованого протоколу. Оцінювання рентгенологічних показників у групі пацієнтів з остеоартрозом здійснювалося в межах передопераційного планування з використанням програмного забезпечення mediCAD (v7.0). До аналізу включали лише панорамні рентгенограми, які вважали технічно коректними та придатними відповідно до загальноприйнятих критеріїв визначення якості осьових знімків [21].

Для визначення механічних та анатомічних осей нижньої кінцівки використовували такі референтні точки (рис. 2):

- центр стегнової кістки визначали за методом Mose [20];
- центр КС — за серединою між тібіальними виростками;
- центр над'яtkово-гомількового суглоба — за серединою таранної кістки.

Після побудови цих осей розраховували основні референтні кути, які характеризують вирівнювання КС у фронтальній площині:

- mechanical Lateral Distal Femoral Angle (mLDFA) — механічний латеральний дистальний кут стегнової кістки визначали як кут між механічною віссю стегнової кістки та лінією дистальної суглобової поверхні стегна, яку проводили через найбільш дистальні точки медіального і латерального виростків;
- mechanical Medial Proximal Tibial Angle (mMPTA) — механічний медіальний проксимальний кут великогомілкової кістки визначали як кут між механічною віссю великогомілкової кістки та лінією її проксимальної суглобової поверхні, яку проводили через найбільш глибокі точки медіального й латерального плато.

У групі 1 середнє значення mLDFA становило  $89,11^\circ \pm 2,05^\circ$ . У групі 2 цей показник дорівнював  $89,53^\circ \pm 1,96^\circ$ . Відповідно, середні значення mMPTA склали  $87,98^\circ \pm 2,28^\circ$  у групі 1 та  $86,93^\circ \pm 2,25^\circ$  у 2.

Згідно з чинними рекомендаціями щодо використання СРАК-класифікації, на основі отриманих рентгенологічних вимірів додатково розраховували два похідні показники — аНКА та JLO [13]. Їх обчислювали за формулами:

$$\text{аНКА} = \text{MPTA} - \text{LDFA}, \quad (1)$$

$$\text{JLO} = \text{MPTA} + \text{LDFA}. \quad (2)$$

Негативні значення арифметичного кута аНКА інтерпретували як варусне конституційне вирівнювання (varus) нижньої кінцівки, тоді як позитивні — як вальгусне (valgus); значення, наближені до нуля, відповідали нейтральному вирівнюванню (neutral). Параметр орієнтації суглобової лінії (JLO) визначали як кут між лінією суглобової поверхні КС та горизонталлю: значення  $JLO < 180^\circ$  відповідали орієнтації apex distal,  $JLO \approx 180^\circ$  — apex neutral,  $JLO > 180^\circ$  — apex proximal.

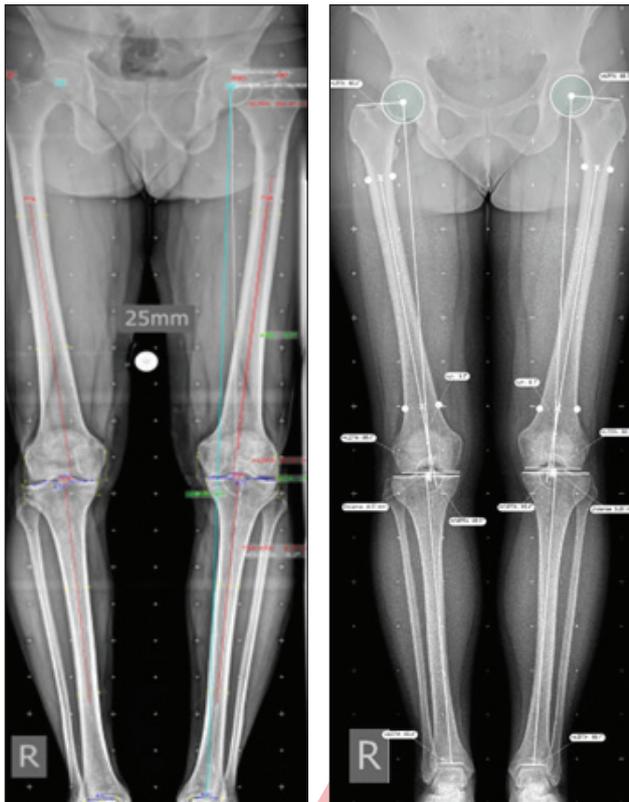


Рис. 1. Приклад використання для рентгенометричного аналізу програм QxLink для здорового КС і mediCAD для КС із ознаками остеоартрозу

На основі отриманих значень аНКА та JLO для кожного КС здійснювали розподіл за СРАК-класифікацією, яка наведена у вигляді матриці  $3 \times 3$  (рис. 3). Вона поєднує 3 категорії конституційного вирівнювання (варусне, нейтральне, вальгусне) із 3 варіантами орієнтації суглобової лінії, формуючи 9 можливих морфологічних фенотипів. Отримані фенотипи реєстрували для подальшого порівняння між групами та статистичного аналізу.

Усі отримані значення заносили до єдиної бази даних, після чого проводили аналітичну та статистичну обробку.

Дослідження проведено в суворій відповідності до принципів біоетики, вимог законодавства та встановлених норм проведення біомедичних досліджень, як це викладено у Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації, Конституції України, Цивільному кодексі України, основах законодавства України про охорону здоров'я та Законі України «Про інформацію». Рентгенологічні обстеження виконувалися в межах стандартного клінічного діагностичного та лікувального процесу з отриманням письмової інформованої згоди пацієнтів на проведення обстеження та обробки медичних даних. Ретроспективний аналіз клінічних та рентгенологічних даних було схвалено комітетом з біоетики ДУ «ІТО НАМН України» (протокол № 8 від 25 листопада 2025 р.).

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програм Microsoft Excel та Statistica 8.0. Для порівняння незалежних вибірок застосовували критерій Манна-Уїтні, а для аналізу парних вибірок — критерій Вілкоксона. Для оцінки взаємозв'язку між окремими рентгенометричними параметрами фронтального вирівнювання використовували кореляційний аналіз за Spearman. Отримані дані аналізували зі

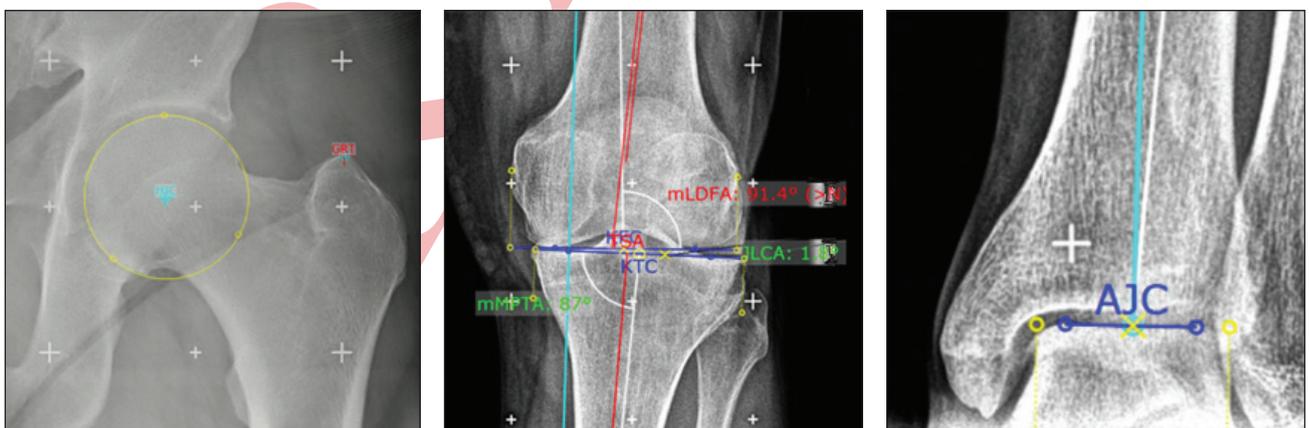


Рис. 2. Приклад визначення референтних точок відповідно до методики Paley

застосуванням стандартних методів описової статистики, що включали розрахунок обсягу вибірки ( $n$ ), середнього арифметичного ( $M$ ) та середньоквадратичного відхилення ( $SD$ ). Рівень статистичної значущості встановлювали на рівні  $p < 0,05$ .

## Результати

Із метою оцінювання внутрішньої узгодженості рентгенометричних показників проведено кореляційний аналіз (Spearman) на всій досліджуваній когорті. Виявлено статистично значущу кореляцію між  $mLDFA$  й  $aHKA$  ( $\rho = -0,65$ ;  $p < 0,001$ ), а також між  $mMPTA$  та  $aHKA$  ( $\rho = 0,74$ ;  $p < 0,001$ ), що підтверджує анатомічний взаємозв'язок між показниками фронтального вирівнювання стегнового та великогомілкового сегментів і внутрішню узгодженість вимірюваних параметрів.

Для визначення типового фенотипу фронтального вирівнювання нижньої кінцівки аналіз здійснювали за даними умовно здорової групи населення, оскільки саме ця когорта відображає нативну анатомічну варіабельність КС без вторинних змін, пов'язаних із дегенеративно-дистрофічним процесом.

Загалом виявлено 9 можливих комбінацій параметрів  $aHKA$  та  $JLO$ . Аналізуючи  $aHKA$  встановлено, що в умовно здорових пацієнтів переважає нейтральний тип вирівнювання, який зафіксовано у 142 випадках ( $\approx 47,3\%$ ). Варусне вирівнювання спостерігалось у 118 ( $\approx 39,3\%$ ), тоді як вальгусне — у 40 ( $\approx 13,3\%$ ).

Параметр  $JLO$  підкреслив, що у 151 випадку ( $\approx 50,3\%$ ) суглобова лінія мала орієнтацію apex distal. Нейтральна орієнтація  $JLO$  спостерігалась у 139 пацієнтів ( $\approx 46,3\%$ ). Орієнтація суглобової лінії типу apex proximal була найрідкіснішою і визначалась лише у 10 випадках ( $\approx 3,3\%$ ).

|                                       |               | Varus | Neutral | Valgus |
|---------------------------------------|---------------|-------|---------|--------|
| Joint Line Obliquity<br>(MPTA + LDFA) | Apex distal   |       |         |        |
|                                       | Neutral       |       |         |        |
|                                       | Apex proximal |       |         |        |

Рис. 3. Комбінації  $aHKA$  та  $JLO$ , які формують фенотипи СРАК-матриці [13]

Таким чином, найбільш поширеними СРАК-фенотипами в умовно здоровій групі були II тип — 74 випадки ( $\approx 24,7\%$ ), I — 65 ( $\approx 21,7\%$ ) та V — 63 (21,0 %).

Розподіл фенотипів за СРАК-класифікацією в умовно здоровій групі ( $n = 300$ ) наведено в табл. 1.

Для виявлення можливих особливостей нативного фронтального вирівнювання проведено окремий аналіз розподілу СРАК-фенотипів у підгрупах за статтю.

У чоловічій підгрупі найчастішим СРАК-фенотипом був тип II (28 %), за яким йшли типи I (24 %) та IV (19 %). У жіночій підгрупі структура розподілу мала дещо інший характер: провідним був тип V (25 %), тоді як II посідав друге місце (20 %), а I — третє (19 %).

У групі пацієнтів з остеоартрозом III–IV ст. під час аналізу  $aHKA$  відзначалося суттєве переважання варусного типу вирівнювання, який реєстрували у 116 випадках (58 %). Нейтральні значення спостерігалися у 68 пацієнтів (34 %), тоді як вальгусний тип був найменш поширеним — 16 (8 %).

Щодо орієнтації суглобової лінії ( $JLO$ ), здебільшого виявлено варіант apex distal — 118 випадків (59 %). Нейтральний  $JLO$  спостерігався у 78 випадках (39 %), тоді як apex proximal траплявся рідко — у 4 (2 %).

За СРАК-класифікацією найчастішим фенотипом був I тип — 71 випадок (35,5 %). Наступними за поширеністю були IV — 44 (22 %) та II — 39 осіб (19,5 %). Розподіл фенотипів у пацієнтів з остеоартрозом наведено в таблиці 2.

Аналізуючи розподіл СРАК-фенотипів у хворих групи 2 з урахуванням статі встановлено, що в обох підгрупах переважали фенотипи, асоційовані з варусним фронтальним вирівнюванням та орієнтацією суглобової лінії типу apex distal.

У чоловічій підгрупі найчастішими були СРАК-фенотипи I ( $\approx 48,3\%$ ), IV та II ( $\approx 21,3\%$ ), що відображає виражене зміщення розподілу в бік варусних варіантів фронтального вирівнювання.

У жіночій підгрупі провідним також був СРАК-фенотип I ( $\approx 25,2\%$ ), за яким за частотою розташовувалися фенотипи II ( $\approx 22,5\%$ ) та V ( $\approx 18,9\%$ ), що свідчить про більш рівномірний розподіл СРАК-фенотипів із відносно більшою часткою нейтральних варіантів порівняно з чоловіками.

Серед вальгусних різновидів фронтального вирівнювання частіше зустрічався фенотип III, із загальною частотою близько 6 % серед жіночої популяції та близько 3 % серед чоловічої.

Таблиця 1  
Розподіл фенотипів за СРАК-класифікацією у групі 1

| Параметр |               | аНКА  |         |        |        |
|----------|---------------|-------|---------|--------|--------|
|          |               | Varus | Neutral | Valgus | Усього |
| JLO      | Apex distal   | 65    | 74      | 12     | 151    |
|          | Neutral       | 51    | 63      | 25     | 139    |
|          | Apex proximal | 2     | 5       | 3      | 10     |
|          | Разом         | 118   | 142     | 40     | 300    |

Обмеження дослідження. Це спостереження має низку обмежень, які слід урахувати для інтерпретації результатів. Воно має ретроспективний описовий характер, що не дозволяє встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між фронтальним вирівнюванням та розвитком остеоартрозу. Оцінювання торсійних деформацій стегна та гомілки не входило до завдань цього спостереження; аналіз кутових рентгенометричних параметрів ґрунтувався виключно на даних панорамної рентгенографії нижніх кінцівок, яка є загальноприйнятим і достатнім методом для оцінювання фронтального вирівнювання та визначення фенотипів за СРАК-класифікацією. Оскільки дослідження мало описовий характер і не передбачало статистичного порівняння когорт між собою, формальна оцінка варіабельності вимірювань не проводилася. Антропометричні та демографічні чинники, які можуть суттєво впливати на клінічний перебіг остеоартрозу, у цій роботі не аналізувалися, оскільки вони не є визначальними для визначення анатомічних кутових рентгенометричних параметрів фронтального вирівнювання нижньої кінцівки, що були основним предметом вивчення.

Незважаючи на зазначені обмеження, результати дослідження дозволяють окреслити характерні особливості розподілу СРАК-фенотипів у досліджуваній вибірці та формують основу для подальших проспективних досліджень.

#### Обговорення

У цій роботі здійснено аналіз особливостей фронтального вирівнювання КС на основі СРАК-класифікації, що використовує два ключові рентгенологічні параметри — арифметичний кут аНКА та нахил суглобової лінії JLO. Ці показники вважаються відносно стабільними в разі відсутності значних кісткових деформацій та відображають переважно нативне (конституційне) вирівнювання навіть у пацієнтів із наявним остеоартрозом. Отже, аналіз СРАК-фенотипів

Таблиця 2  
Розподіл фенотипів за СРАК-класифікацією у групі 2

| Параметр |               | аНКА  |         |        |        |
|----------|---------------|-------|---------|--------|--------|
|          |               | Varus | Neutral | Valgus | Усього |
| JLO      | Apex distal   | 71    | 39      | 8      | 118    |
|          | Neutral       | 44    | 27      | 7      | 78     |
|          | Apex proximal | 1     | 2       | 1      | 4      |
|          | Разом         | 116   | 68      | 16     | 200    |

у групі з остеоартрозом дозволяє інтерпретувати фронтальне вирівнювання не лише як наслідок дегенеративних змін, а й як можливе відображення початкової анатомії нижньої кінцівки.

Отримані результати підтверджують наявність значної нативної варіабельності фронтального вирівнювання КС. Найпоширенішими виявилися СРАК-фенотипи II, I та V, що загалом узгоджується з даними, опублікованими іншими європейськими науковцями, які також відзначають переважання варіантів із нейтральним або помірно варусним фронтальним вирівнюванням та орієнтацією суглобової лінії типу apex distal [3–5].

У групі пацієнтів з остеоартрозом III–IV ст. розподіл СРАК-фенотипів характеризувався вираженим зміщенням у бік варусних варіантів фронтального вирівнювання, при цьому найпоширенішими були I, IV та II. Переважання варусних фенотипів може бути пов'язане з біомеханічними особливостями навантаження медіального відділу КС та роллю початкового фронтального вирівнювання у формуванні дегенеративних змін. Водночас встановити причинно-наслідковий зв'язок у межах цього дослідження неможливо, оскільки його дизайн не передбачав проспективного спостереження або оцінювання нативного вирівнювання до розвитку дегенеративного процесу.

За результатами метааналізу G. Giurazza та співавт. [22] для європейської популяції описано переважання СРАК-фенотипів I та II у здорових осіб і збільшення частки варусних фенотипів у пацієнтів з остеоартрозом. Водночас суттєвою особливістю розподілу СРАК-фенотипів у нашій національній когорті є значно нижча частота фенотипу III, зокрема серед жіночої популяції, порівняно з узагальненими європейськими даними. Така відмінність може відображати популяційні анатомічні особливості та підкреслює доцільність подальших багатоцентрових досліджень

CPAK-фенотипів із залученням більшої вибірки пацієнтів.

Отримані дані можуть мати практичне значення в контексті індивідуалізованого планування тотального ендопротезування колінного суглоба. Знання розподілу CPAK-фенотипів у конкретній популяції дозволяє краще інтерпретувати нативне фронтальне вирівнювання й уникати універсального підходу до відновлення механічної осі, що є особливо актуальним у світлі розвитку персоналізованих стратегій вирівнювання.

## Висновки

Переважає CPAK-фенотипів I, II та V в умовно здоровій групі свідчить про більшу поширеність нейтральних і помірно варусних варіантів фронтального вирівнювання нижньої кінцівки. Виявлені особливості розподілу CPAK-фенотипів у пацієнтів з остеоартрозом, зокрема зміщення в бік варусного вирівнювання, підкреслюють потенційну роль початкової анатомії у формуванні дегенеративних змін. Отримані результати обґрунтовують доцільність урахування CPAK-фенотипу та нативного фронтального вирівнювання в разі персоналізованого планування тотального ендопротезування колінного суглоба.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження, зокрема проспективні когортні спостереження, необхідні для визначення того, чи є початковий фенотип ризиковим фактором дегенерації, або ж спостережуваний розподіл лише відображає вихідні анатомічні особливості популяції.

Інформація про фінансування. Стаття фінансована власним коштом.

Внесок авторів. Мороз М. Д. — концептуалізація дослідження, збір клінічного матеріалу, статистичний аналіз та інтерпретація отриманих результатів, написання основного тексту статті; Козак Р. А. — участь у підготовці рукопису, аналіз та узагальнення результатів дослідження, редагування тексту; Костогриз О. А. — наукове керівництво дослідженням, методологічне консультування, критичний перегляд рукопису та затвердження остаточного варіанта статті; Костогриз Ю. О. — збір клінічного матеріалу, систематизація та первинна обробка даних; Кириленко М. Ю. — виконання рентгенометричних вимірювань, аналіз і порівняння клініко-рентгенологічних показників.

## Список літератури

- Bourne, R. B., Chesworth, B. M., Davis, A. M., Mahomed, N. N., & Charron, K. D. (2010). Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? *Clinical orthopaedics & related research*, 468(1), 57–63. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-1119-9>
- Kahlenberg, C. A., Nwachukwu, B. U., McLawhorn, A. S., Cross, M. B., Cornell, C. N., & Padgett, D. E. (2018). Patient satisfaction after total knee replacement: A systematic review. *HSS Journal®: the musculoskeletal journal of hospital for special surgery*, 14(2), 192–201. <https://doi.org/10.1007/s11420-018-9614-8>
- Hirschmann, M. T., Khan, Z. A., Sava, M. P., Von Eisenhart-Rothe, R., Graichen, H., Vendittoli, P., Riviere, C., Chen, A. F., Leclercq, V., Amsler, F., Lustig, S., & Bonnin, M. (2024). Definition of normal, neutral, deviant and aberrant coronal knee alignment for total knee arthroplasty. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 32(2), 473–489. <https://doi.org/10.1002/ksa.12066>
- Bellemans, J., Colyn, W., Vandenuecker, H., & Victor, J. (2012). The Chitranjan Ranawat award: Is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional Varus. *Clinical orthopaedics & related research*, 470(1), 45–53. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-1936-5>
- Moser, L. B., Hess, S., Amsler, F., Behrend, H., & Hirschmann, M. T. (2019). Native non-osteoarthritic knees have a highly variable coronal alignment: A systematic review. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 27(5), 1359–1367. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05417-2>
- Thienpont, E., Schwab, P. E., Cornu, O., Bellemans, J., & Victor, J. (2017). Bone morphotypes of the Varus and valgus knee. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 137(3), 393–400. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2626-x>
- Cooke, D., Scudamore, A., Li, J., Wyss, U., Bryant, T., & Costigan, P. (1997). Axial lower-limb alignment: Comparison of knee geometry in normal volunteers and osteoarthritis patients. *Osteoarthritis and cartilage*, 5(1), 39–47. [https://doi.org/10.1016/s1063-4584\(97\)80030-1](https://doi.org/10.1016/s1063-4584(97)80030-1)
- Shetty, G. M., Mullaji, A., Bhayde, S., Nha, K. W., & Oh, H. K. (2014). Factors contributing to inherent Varus alignment of lower limb in normal Asian adults: Role of tibial plateau inclination. *The knee*, 21(2), 544–548. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.09.008>
- Huan, W., Mochizuki, T., Tanifuji, O., & Kawashima, H. (2022). Variability of functional knee phenotype for coronal alignment in advanced Varus knee osteoarthritis in the Japanese population. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 31(4), 1451–1461. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07248-0>
- Hess, S., Moser, L. B., Amsler, F., Behrend, H., & Hirschmann, M. T. (2019). Highly variable coronal tibial and femoral alignment in osteoarthritic knees: A systematic review. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 27(5), 1368–1377. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05506-2>
- Hwang, D., Wook Choi, M., Kim, S., Han, H., Bum Chang, C., Chul Lee, M., Lee, N., & Hyun Ro, D. (2023). Age and sex differences in coronal lower extremity alignment in a healthy Asian population. *The knee*, 45, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2023.09.009>
- Moser, L. B., Hess, S., De Villeneuve Bargemon, J., Faizan, A., LiArno, S., Amsler, F., Hirschmann, M. T., & Ollivier, M. (2022). Ethnic differences in knee phenotypes indicate the need for a more individualized approach in knee arthroplasty: A comparison of 80 Asian knees with 308 Caucasian knees. *Journal of personalized medicine*, 12(1), 121. <https://doi.org/10.3390/jpm12010121>
- MacDessi, S. J., Griffiths-Jones, W., Harris, I. A., Bellemans, J., & Chen, D. B. (2021). Coronal plane alignment of the knee (CPAK) classification. *The bone & joint journal*, 103-B(2), 329–337. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.103b2.bjj-2020-1050.r1>
- MacDessi, S. J., Griffiths-Jones, W., Harris, I. A., Bellemans, J., & Chen, D. B. (2020). The arithmetic HKA (aHKA) predicts the constitutional alignment of the arthritic knee compared to the normal contralateral knee. *Bone & joint open*, 1(7), 339–345. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.17.bjo-2020-0037.r1>
- Hirschmann, M. T., Hess, S., Moser, L. B., Robertson, E. L., & Leclercq, V. (2022). Phenotypes of the knee and limb: Rationale for transitioning toward personalized alignment in total knee arthroplasty. *Calipered kinematically aligned total*

- knee arthroplasty, 6–12. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-75626-6.00002-0>
16. Golovakha, M., & Bondarenko, S. (2023). Use of an individual tool for kinematic alignment of the limb axis during knee arthroplasty (clinical case). *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (1), 80–85. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023180-85>
  17. Zazirnyi, I. (2024). Computer navigation and robotic surgery during total knee arthroplasty. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (1), 64–69. <https://doi.org/10.15674/0030-59872024164-69>
  18. Golovakha, M., & Bondarenko, S. (2025). Assessment of the accuracy of reproduction of the lower limb axis using an individual instrument during endoprosthetics with kinematic alignment of the knee joint. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (2), 52–57. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025252-57>
  19. Moroz, M., Kozak, R., Kostogryz, O., & Bondar, V. (2025). Evaluation of the efficacy of kinematic and mechanical alignment in primary total knee arthroplasty during the early postoperative period. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (3), 53–60. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025353-60>
  20. Paley, D. (2002). Normal Lower Limb Alignment and Joint Orientation. In: *Principles of Deformity Correction*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-59373-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-59373-4_1)
  21. Marques Luís, N., & Varatojo, R. (2021). Radiological assessment of lower limb alignment. *EFORT Open reviews*, 6(6), 487–494. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.210015>
  22. Giurazza, G., Tanzilli, A., Franceschetti, E., Campi, S., Gregori, P., Parisi, F. R., Paciotti, M., Perricone, G., Zampogna, B., & Papalia, R. (2025). Coronal plane alignment of the knee phenotypes distribution varies significantly as a function of geographic, osteoarthritic and sex-related factors: A systematic review and meta-analysis. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 33(10), 3592–3605. <https://doi.org/10.1002/ksa.12704>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>03.12.2025 | Отримано після рецензування<br>02.02.2026 | Прийнято до друку<br>10.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## DEFINITION OF THE KNEE PHENOTYPE IN THE UKRAINIAN POPULATION BASED ON THE CPAK CLASSIFICATION

M. D. Moroz <sup>1</sup>, R. A. Kozak <sup>1</sup>, O. A. Kostogryz <sup>1</sup>, Y. O. Kostogryz <sup>1</sup>, M. Yu. Kyrylenko <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Diagnostic Center «M24», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine», Kyiv

\* Mykola Moroz: moroznd@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4134-1322>

\* Roman Kozak: ra.kozak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5132-027X>

\* Oleg Kostogryz, MD, DMedSci: arztkostogryz@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-9533-9247>

\* Yriy Kostogryz, MD, PhD: Arzt@i.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7187-298X>

\* Mykola Kyrylenko: nikolakyrylenko@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-0872-6638>

УДК 616.727.2-002-073.763.5(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026127-32>

## МРТ класифікація ротаторної артропатії плечового суглоба

С. С. Страфун<sup>1</sup>, С. В. Богдан<sup>1</sup>, О. С. Страфун<sup>1</sup>, Р. О. Сергієнко<sup>2</sup><sup>1</sup> ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ<sup>2</sup> Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ

There are several classifications of rotator cuff arthropathy, which are predominantly based on the X-ray examination of patients. The aim of the study was to develop an MRI classification of rotator cuff arthropathy of the shoulder joint. Methods. We included to the study MRI examinations of 91 patients with rotator cuff arthropathy. Presence of acromion acetabularization, deterioration of the shoulder joint articular cartilage, fatty degeneration of the rotator cuff muscles (except teres minor muscle) according to the Goutallier classification, global fatty degeneration index (GFDI) were determined on MRI. Results. After analyzing the above-mentioned criteria, we divided all patients into 4 groups depending on the stage of the disease. We compared the distribution of patients into groups according to the Hamada X-ray classification and according to the proposed MRI classification and made sure of the reproducibility of the data. Conclusion: After comparing Hamada's classification and our classification, we found that the first stage according to Hamada's classification corresponds to the first stage of our MRI classification, the second stage corresponds to the second and third stages of MRI classification, the third, fourth and fifth stages according to Hamada's classification correspond to the fourth stage of our MRI classification. The MRI classification of rotator arthropathy of the shoulder joint presented by us has advantages over the Hamada classification and other radiological classifications, since it takes into account not only the migration of the humeral head and the presence of omarthrosis, but also answers the question of the condition of the rotator cuff muscles, which allows us to determine the rational tactics of surgical treatment in this group of patients. Key words. Shoulder rotator cuff, rotator cuff arthropathy, massive rotator cuff tear, shoulder joint.

На сьогодні існує кілька класифікацій ротаторної артропатії, які переважним чином ґрунтуються на рентгенологічному обстеженні хворих. Мета. Розробити класифікацію, засновану на даних манітно-резонансної томографії (МРТ) ротаторної артропатії плечового суглоба. Методи. До дослідження включено МРТ-обстеження 91 хворого. Визначали наявність ацетабуляризації акроміона, зменшення величини суглобового хряща плечового суглоба, жирову дегенерацію м'язів ротаторної манжети плеча (окрім малого круглого м'яза) за класифікацією Goutallier на сагітальних зрізах у Y-проекції, глобальний індекс жирової дегенерації (GFDI), ушкодження інших м'якотканинних структур ПС (суглобова губа, зв'язки, які утримують сухожилок довгої головки біцепса тощо). Результати. Ураховуючи зазначені критерії ми розділили всіх хворих на 4 групи залежно від стадії захворювання. Порівнюючи розподіл хворих за групами згідно з класифікацією Hamada та запропонованою нами, ще раз переконалися у відтворюваності даних. Висновки. Під час порівняння ступенів за класифікацією Hamada та МРТ, з'ясували, що 1 відповідає 1; 2 — 2 та 3; 3, 4 та 5 — 4 ступеню МРТ класифікації. Наведена нами МРТ класифікація ротаторної артропатії плечового суглоба має переваги над Hamada й іншими рентгенологічними класифікаціями, оскільки вона враховує не лише міграцію головки плечової кістки та наявність омартрозу, а й відповідає на питання про стан м'язів ротаторної манжети плеча, що дозволяє визначитися з раціональною тактикою хірургічного лікування цієї групи хворих.

**Ключові слова.** Ротаторна манжета плеча, ротаторна артропатія, сухожилок надостьового м'яза, плечовий суглоб

## Вступ

Ротаторна артропатія — це патологічний стан плечового суглоба (ПС), який розвивається внаслідок масивного (два і більше) розриву сухожилків ротаторної манжети плеча (РМП), дегенеративних змін ПС і краніального чи вентрокраніального зміщення головки плеча [1–4].

На сьогодні існує кілька класифікацій ротаторної артропатії, які переважним чином ґрунтуються на рентгенологічному обстеженні хворих [1, 4–6]. Однією з основних є рентгенологічна за Namada [1, 6, 7], в якій основним критерієм оцінювання є вимірювання акроміально-плечової відстані, іншими є зменшення відстані між лопаткою та головкою плеча внаслідок ушкодження суглобового хряща ПС і деформація головки плеча (її колапс). Відомі також не менш цікаві класифікації Seebauer [6] та Favard [1, 7], які ґрунтуються на рентгенологічних дослідженнях. Основними критеріями в них є зменшення акроміально-плечової, лопатково-плечової відстаней та деформація головки плечової кістки [7, 8]. Проте всі ці класифікації не враховують стан м'язів РМП, супутню патологію ПС і, відповідно, не допоможуть клініцисту з тактикою хірургічного втручання. Окрім того, переважно в разі підозри на розрив сухожилків РМП усім хворим виконують лише МРТ-обстеження. Здебільшого рентгенівські дослідження ПС роблять не часто й не в тих проєкціях і не з тим напрямком рентгенівського променя, який рекомендували автори класифікацій. Аналізуючи світову літературу, ми не знайшли МРТ класифікації ротаторної артропатії ПС, яка б об'єднувала відомі рентгенологічні класифікації, ураховувала стан м'язів РМП і допомагала

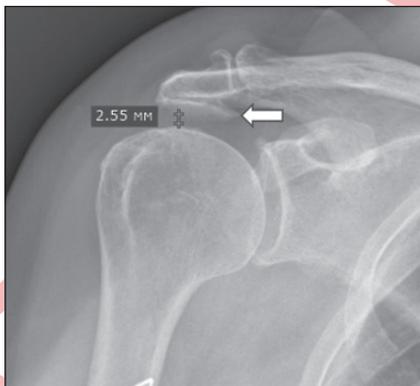


Рис. 1. Рентгенографія правого плечового суглоба в прямій проєкції, ротаторна артропатія 3 ст. (2,55 — величина субакроміального простору; стрілкою показано ацетабуляризацію акроміона)

лікарям визначитися з тактикою подальшого лікування хворих.

Мета: розробити класифікацію, засновану на даних манітно-резонансної томографії ротаторної артропатії плечового суглоба.

## Матеріал і методи

До дослідження ми включили МРТ-обстеження 91 хворого, які з 2014 по 2024 роки були госпіталізовані до клініки реконструктивно-відновної хірургії верхньої кінцівки ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» (м. Київ) і на момент огляду мали ротаторну артропатію ПС різного ступеня. Вік пацієнтів складав від 35 до 80 років (середній  $48,2 \pm 19,8$ ). Роботу схвалено локальним комітетом із біоетики (протокол № 6 від 14.07.2025 р.) відповідної установи залежно до правки ICH GCP, Гельсінської декларації прав людини та біомедицини, а також чинного законодавства України. Усі залучені хворі були ознайомлені з планом та умовами проведення дослідження, надали письмову й усну згоду.

Усі пацієнти були обстежені до початку лікування клінічно та рентгенологічно. Виконано рентгенографію ПС у положенні хворого стоячи чи сидячи в проєкції перпендикулярній до осі лопатки з краніокаудальним напрямком рентгенівського променя  $20^\circ$  (рис. 1) для визначення ступеню ротаторної артропатії за Namada. Нормальною величиною акроміально-плечового інтервалу вважали 8–12 мм [1, 7–13].

Також усім хворим виконано МРТ-обстеження анатомічних структур ПС, зокрема сухожилків і м'язів РМП у режимах: T1, T2, Pd і Pdfatsat. За його допомогою визначали:

- 1) наявність ацетабуляризації акроміона (рис. 2, а);
- 2) зменшення величини суглобового хряща ПС (рис. 2, б);
- 3) жирову дегенерацію м'язів РМП (окрім малого круглого м'яза) за класифікацією Goutallier на сагітальних зрізах в Y проєкції [9, 10–13] (рис. 2, в);
- 4) глобальний індекс жирової дегенерації (GFDI) [7, 10],
- 5) ушкодження інших м'якотканинних структур ПС (суглобова губа, зв'язки, які утримують сухожилки довгої головки біцепса тощо).

Глобальний індекс жирової дегенерації (GFDI) — це показник, який використовується в ортопедії для кількісного оцінювання тяжкості жирової дегенерації, або жирової інфільтрації, в м'язах РМП. Його розраховували як середнє значення балів за шкалою Goutallier (від 0 до 4),

що присвоюються надостьовому, підостьовому та підлопатковому м'язам, які виявляються за допомогою МРТ. Високий GFDI вказує на більш тяжку жирову інфільтрацію та пов'язаний з гіршим прогнозом, включаючи підвищений ризик повторного розриву та зниження функціональних результатів після операції на ротаторній манжеті [1, 7, 10].

Критерії включення до дослідження такі: наявність масивного розриву ротаторної манжети плеча та ротаторної артропатії плечового суглоба будь-якого ступеня, наявність МРТ-дослідження з силою магнітного поля 1,5 Тсл, вік від 35 до 80 років, відсутність супутньої патології плечового суглоба (артрит, кальцинуючий тендініт чи будь-яка кісткова патологія проксимального епіметафізу плечової кістки).

Статистична обробка даних проводилася за допомогою пакета STATISTICA 12,0. Для порівняння результатів використовували критерій Стьюдента (для двох груп за умови нормального розподілу показників) і критерії Манна-Уїтні (для

двох або більше груп під час аналізу показників, які демонстрували розподіл, відмінний від нормального). Відмінності розподілу двох вибірок оцінювали за допомогою критерію  $\chi^2$ .

## Результати

У табл. 1 наведено розроблену нами класифікацію ротаторної артропатії ПС згідно з даними МРТ-дослідження, яке дає нам можливість розділити всіх хворих на 4 групи за ступенем захворювання (табл. 1), що визначався залежно від жирової дегенерації м'язів РМП і змін кісткової структури ПС (чітко можна оцінити саме під час МРТ-обстеження) (рис. 1, 2).

У жодному випадку ми не спостерігали ацетабуляризацію акроміона без наявності жирової дегенерації м'язів РМП або наявності глобального індексу жирової дегенерації  $> 3$  за відсутності жирової дегенерації надостьового м'яза. Таким чином, усіх хворих із ротаторною артропатією ПС ми розподілили за ступенями (табл. 2).

Таблиця 1

МРТ класифікація ротаторної артропатії плечового суглоба

| Ступінь ротаторної артропатії | МРТ-ознака  |
|-------------------------------|---|
| 1                             | Жирова дегенерація надостьового м'яза $< 3$ ст. за Goutallier;<br>GFDI $< 1$ ;<br>Відсутність ацетабуляризації акроміона та/або артрозних змін плечового суглоба        |
| 2                             | Жирова дегенерація надостьового м'яза $\geq 3$ ст. за Goutallier;<br>GFDI — 1–1,9;<br>Відсутність ацетабуляризації акроміона та/або артрозних змін плечового суглоба    |
| 3                             | Жирова дегенерація надостьового м'яза $\geq 3$ ст. за Goutallier;<br>GFDI $> 2$ –2,5;<br>Відсутність ацетабуляризації акроміона та/або артрозних змін плечового суглоба |
| 4                             | Жирова дегенерація надостьового м'яза $\geq 3$ ст. за Goutallier;<br>GFDI $> 2,5$ ;<br>Наявність ацетабуляризації акроміона та/або артрозних змін плечового суглоба     |



Рис. 2. Скан МРТ-обстеження ПС, а) фронтальний зріз T2 Pdfatsat режим (жовтою лінією показана ацетабуляризацію акроміона); б) фронтальний зріз T2 Pdfatsat режим (жовтою стрілкою показане ушкодження суглобового хряща ПС); в) сагітальний зріз T2 Pdfatsat режим (овалами показано залишки надостьового та підостьового м'язів) 3 ст. жирової дегенерації надостьового та 4 ст. підостьового м'язів за Goutallier

Отже, переважна кількість хворих — 35 (38,5 %) мала 2 ст. ротаторної артропатії ПС згідно з МРТ-дослідженням ( $p = 0,031$ ). Пацієнтів з 1 та 3 ст. було значно менше — 21 (23,1 %) та 20 (21,9 %) відповідно. Найменша кількість з 4 ст. — 15 (16,5 %). У жодному випадку не було виявлено ознак перебігу захворювання відповідно для двох груп одразу.

У табл. 3 показано розподіл пацієнтів за групами згідно з класифікацією Hamada.

Зауважимо, що переважна кількість хворих мали 1 та 2 ст. ротаторної артропатії, тобто в них були лише м'якотканинні зміни м'язів РМП, які опосередковано проявлялися на рентгенограмі зменшенням субакроміального простору. І лише в осіб з 3–5 ст. ротаторної артропатії можна спостерігати рентгенологічні зміни у вигляді омартрозу й ацетабуляризації акроміона.

Під час порівняння таблиць 2 та 3 ми з'ясували, що хворі, які мали 1 ст. ротаторної артропатії згідно з класифікацією Hamada, достовірно відносились до 1 ст. нашої МРТ-класифікації ( $p = 0,03$ );

Таблиця 2

Розподіл хворих за ступенями ротаторної артропатії згідно з МРТ-дослідженням

| Ступінь | Кількість хворих, (%) |
|---------|-----------------------|
| 1       | 21 (23,1)             |
| 2       | 35 (38,5)             |
| 3       | 20 (21,9)             |
| 4       | 15 (16,5)             |

Таблиця 3

Розподіл хворих за ступенем ротаторної артропатії згідно з рентгенографічним дослідженням

| Ступінь | Кількість хворих, (%) |
|---------|-----------------------|
| 1       | 21 (23,1)             |
| 2       | 55 (60,4)             |
| 3       | 8 (8,8)               |
| 4       | 4 (4,4)               |
| 5       | 3 (3,3)               |

пацієнти з 2 — до 2 та 3 ( $p = 0,67$ ), особи з 3, 4 та 5 — до 4 ст. МРТ класифікації ( $p = 0,041$ ).

У табл. 4 наведено варіанти лікування кожного зі ступенів ротаторної артропатії ПС.

Отже, реверсивне протезування ПС можливе у хворих старше 60 років із 3 ст. ротаторної артропатії або з 4 згідно з МРТ-класифікацією. За умов інших варіантів бажано виконувати реконструктивні втручання на ПС.

## Обговорення

Запропонована нами МРТ класифікація ротаторної артропатії ПС дає можливість лікарю правильно зорієнтуватися у виборі тактики лікування хворих із будь-яким ступенем ротаторної артропатії ПС. Це допомагає нам в роботі протягом 10 років, даючи змогу порівняти результати лікування різними способами.

Фактично наша класифікація є поєднанням шкал Hamada та Goutallier [1, 7, 10] і враховує лише грубі зміни в ПС, що суттєво зменшує ймовірність похибки. Так, наприклад, під час оцінювання акроміально-плечового індексу (АПІ) — відстані між нижньою поверхнею акроміона та головкою плечової кістки, 5 мм ми вважаємо ротаторною артропатією 2 ст. за Hamada, а 6 мм — 1 ст. При цьому похибка в 1 мм дуже ймовірна і залежить від досвідченості лікаря, якості та правильності виконання рентгенограми. Нехтування правильним проходженням рентгенівського променя під кутом  $20^\circ$  до горизонтальної осі зверху-вниз та перпендикулярно осі лопатки унеможливує правильне діагностування (рис. 1). У нашій класифікації величина АПІ ігнорується, а основним фактором є наявність ацетабуляризації акроміона, яка відносить хворого до 4 ст. ротаторної артропатії з відповідною тактикою хірургічного лікування. Подвійна оцінка ступеня жирової дегенерації за Goutallier спочатку для надостьового, а потім і для інших м'язів із визначенням індексу GFDI також суттєво зменшує ризик похибки.

Таблиця 4

Лікування ротаторної артропатії плечового суглоба залежно від даних МРТ-дослідження

| Ступінь | Хірургічне лікування   |
|---------|--|
| 1       | Шов сухожилків ротаторної манжети плеча (відкритий чи артроскопічний)  |
| 2       | Відновлення верхньої капсули плечового суглоба (відкрито чи артроскопічно)   |
| 3       | У хворих до 60 років — транспозиція сухожилка найширшого м'яза спини в положення зовнішніх ротаторів або верхньої порції великого грудного м'яза в положення внутрішніх ротаторів.<br>У хворих після 60 років — реверсивне протезування ПС |
| 4       | Реверсивне протезування ПС   |

Аналізуючи англomовну літературу, ми не знайшли публікацій, які б об'єднували класифікації Hamada та Goutallier. Переважна більшість їх мала на меті порівняти рентгенографічні і МРТ-дослідження з визначенням АПІ та впливу на нього положення верхньої кінцівки чи інших факторів, таких як величина розриву сухожилків, терміни з моменту травми тощо [12–17, 20].

У публікації R. Mirzayan і співавт. зазначено, що за початкових проявів ротаторної артропатії ПС (1–2 ст.) дані АПІ, які виміряні на рентгенограмі, не корелюють із показниками, що отримані під час МРТ-дослідження. Таким чином, на ранніх стадіях захворювання неможливо за допомогою МРТ діагностувати ротаторну артропатію. Тоді як на пізніх стадіях (3–5 ст.) немає суттєвої різниці в показниках АПІ [18].

У працях С. М. Werner та співавт. також вказується, що дані АПІ у хворих із ротаторною артропатією отримані під час МРТ та КТ-досліджень суттєво відрізняються від тих, що набуті за допомогою рентгену. У своїй роботі автори виявили, що показники АПІ під час МРТ-досліджень гарно корелюють із жировою дегенерацією м'язів РМП і запропонували формулу перерахунку цих значень до тих, що одержані за допомогою рентгенограми [19].

Цікавою на наш погляд є публікація P. N. Chalmers і співавт., в якій автори довели, що величина АПІ не залежить від розміру розриву сухожилків РМП, а його прогресування з часом не впливає на величину АПІ [5].

Запропонована нами МРТ класифікація має свої, на нашу думку, суттєві переваги над Hamada й іншими, які беруть до уваги лише рентгенологічні зміни ПС, оскільки вона враховує не лише зміщення головки плечової кістки каудально та наявність ушкодження суглобового хряща ПС, а й відповідає на питання про стан м'язів РМП і супутню патологію ПС.

## Висновки

Порівнюючи класифікації Hamada та нашу, ми з'ясували, що 1 ступеню за шкалою Hamada відповідає 1 ступінь МРТ класифікації; 2 — 2 та 3; 3, 4 та 5 ступеню — 4 ступінь МРТ класифікації.

Запропонована нами МРТ класифікація ротаторної артропатії плечового суглоба має переваги над класифікацією Hamada й іншими рентгенологічними, оскільки вона враховує не лише міграцію головки плечової кістки та наявність омартозу, а й відповідає на питання про стан м'язів ротаторної манжети, що дозволяє визначитися

з раціональною тактикою хірургічного лікування у цієї групи хворих.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямом нашої роботи ми вважаємо вивчення інших впливових патологічних змін плечового суглоба для доповнення нашої класифікації, хоча в цьому випадку вона може стати більш громіздкою та незрозумілою для практикуючих ортопедів.

Інформація про фінансування. Автори заявляють про відсутність фінансової зацікавленості під час написання цієї статті. Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів. Страфун С. С. — концепція і дизайн дослідження; Богдан С. В. — збір і обробка матеріалів, написання тексту; Страфун О. С. — системний аналіз отриманих даних; Сергієнко Р. О. — системний аналіз отриманих даних.

## Список літератури

1. Matsen, F. A., Cordasco, F. A., Sperling, J. W., & Lippitt, S. B. (2021). *Rockwood and Matsen's the shoulder E-book: Rockwood and Matsen's the shoulder E-book*. Elsevier Health Sciences.
2. Mizuki, Y., Tamai, M., Senjyu, T., & Takagishi, K. (2022). Arthroscopic extreme Medialized repair for massive rotator cuff tear: Resection of cartilage and Subchondral bone over the top of the humeral head. *Arthroscopy techniques*, 11(6), e965–e970. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2022.01.017>
3. Clifford, A. L., Hurley, E., Anakwenze, O., & Klifto, C. S. (2024). Rotator cuff arthropathy: A comprehensive review. *Journal of hand surgery global online*, 6(4), 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2023.12.014>
4. Furuhashi, R., Matsumura, N., Oki, S., Nishikawa, T., Kimura, H., Suzuki, T., Nakamura, M., & Iwamoto, T. (2022). Risk factors of radiographic severity of massive rotator cuff tear. *Scientific reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17624-y>
5. Chalmers, P. N., Salazar, D. H., Steger-May, K., Chamberlain, A. M., Stobbs-Cucchi, G., Yamaguchi, K., & Keener, J. D. (2016). Radiographic progression of arthritic changes in shoulders with degenerative rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 25(11), 1749–1755. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2016.07.022>
6. Brolin, T. J., Updegrave, G. F., & Horneff, J. G. (2017). Classifications in brief: Hamada classification of massive rotator cuff tears. *Clinical orthopaedics & related research*, 475(11), 2819–2823. <https://doi.org/10.1007/s11999-017-5340-7>
7. Habermeyer P. (2006). *Classifications and scores of the shoulder*. Springer, Berlin
8. Stanborough, R. O., Bestic, J. M., & Peterson, J. J. (2022). Shoulder osteoarthritis. *Radiologic clinics of North America*, 60(4), 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2022.03.003>
9. Eajazi, A., Kussman, S., LeBedis, C., Guermazi, A., Koppel, A., Jawa, A., & Murakami, A. M. (2015). Rotator cuff tear arthropathy: Pathophysiology, imaging characteristics, and treatment options. *American journal of roentgenology*, 205(5), W502–W511. <https://doi.org/10.2214/ajr.14.13815>
10. Wallenberg, R. B., Belzer, M. L., Ramsey, D. C., Opel, D. M., Berkson, M. D., Gundle, K. R., Nagy, M. L., Boucher, R. J., & McCarron, J. A. (2022). MRI-based 3-dimensional volumetric assessment of fatty infiltration and muscle atrophy in rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 31(6), 1272–1281. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2021.12.037>
11. Ki, S., Lee, Y., Kim, J., Lho, T., & Chung, S. W. (2021). Relationship between fatty infiltration and gene expression in patients with medium rotator cuff tear. *Journal of shoulder*

- and elbow surgery, 30(2), 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.06.003>
12. McCrum, E. (2020). MR imaging of the rotator cuff. *Magnetic Resonance Imaging clinics of North America*, 28(2), 165–179. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2019.12.002>
  13. Clifford, A. L., Hurley, E., Anakwenze, O., & Klifto, C. S. (2024). Rotator cuff arthropathy: A comprehensive review. *Journal of hand surgery global online*, 6(4), 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2023.12.014>
  14. Cvetanovich, G. L., Waterman, B. R., Verma, N. N., & Romeo, A. A. (2019). Management of the irreparable rotator cuff tear. *Journal of the American academy of orthopaedic surgeons*, 27(24), 909–917. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-18-00199>
  15. Verhaegen, F., Meynen, A., Plessers, K., Scheys, L., & Debeer, P. (2021). Quantitative SSM-based analysis of humeral head migration in rotator cuff tear arthropathy patients. *Journal of orthopaedic research*, 40(7), 1707–1714. <https://doi.org/10.1002/jor.25195>
  16. Rugg, C. M., Gallo, R. A., Craig, E. V., & Feeley, B. T. (2018). The pathogenesis and management of cuff tear arthropathy. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 27(12), 2271–2283. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.07.020>
  17. Kwong, C. A., Ono, Y., Carroll, M. J., Fruson, L. W., More, K. D., Thornton, G. M., & Lo, I. K. (2019). Full-thickness rotator cuff tears: What is the rate of tear progression? A systematic review. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery*, 35(1), 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.07.031>
  18. Mirzayan, R., Donohoe, S., Batech, M., Suh, B. D., Acevedo, D. C., & Singh, A. (2020). Is there a difference in the acromiohumeral distances measured on radiographic and magnetic resonance images of the same shoulder with a massive rotator cuff tear? *Journal of shoulder and elbow surgery*, 29(6), 1145–1151. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.10.020>
  19. Werner, C. M., Conrad, S. J., Meyer, D. C., Keller, A., Hodler, J., & Gerber, C. (2008). Intermethod agreement and interobserver correlation of radiologic acromiohumeral distance measurements. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 17(2), 237–240. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.06.002>
  20. Furuhashi, R., Matsumura, N., Oki, S., Nishikawa, T., Kimura, H., Suzuki, T., Nakamura, M., & Iwamoto, T. (2022). Risk factors of radiographic severity of massive rotator cuff tear. *Scientific reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17624-y>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>07.11.2025 | Отримано після рецензування<br>17.12.2025 | Прийнято до друку<br>24.12.2025 |
|---|---|---------------------------------|

## MRI CLASSIFICATION OF ROTATOR CUFF ARTHROPATHY

S. S. Strafun <sup>1</sup>, S. V. Bohdan <sup>1</sup>, S. O. Strafun <sup>1</sup>, R. O. Sergienko <sup>2</sup>

<sup>1</sup> SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

<sup>2</sup> National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv

\* Sergiy Strafun, MD, Prof.: [strafun-s@ukr.net](mailto:strafun-s@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0001-8178-9290>

\* Sergiy Bohdan, MD, PhD: [sergey-mena@ukr.net](mailto:sergey-mena@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0001-6681-9615>

\* Olexandr Strafun, MD, DMSci: [o\\_strafun@ukr.net](mailto:o_strafun@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0003-2726-5589>

\* Ruslan Sergienko, MD: [anna.vovchenko.md@gmail.com](mailto:anna.vovchenko.md@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-0497-3518>

УДК 616.717.4-001.5:616.727.2-089.843](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026133-42>

## Functional outcomes of reverse total shoulder arthroplasty in acute proximal humeral fractures versus post-traumatic sequelae

Ahmed Adel Abdelaty Abdo <sup>1</sup>, Tarek Abdelaziz <sup>1</sup>, Mohamed Omar Soliman <sup>2</sup>, Mohamed Ibrahim Rakha <sup>1</sup>, Asser Abdelhay Sallam <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Orthopedic Surgery and Trauma, Suez Canal University, Ismailia. Egypt

<sup>2</sup> Department of Orthopedic Surgery and Trauma, Cairo University. Egypt

<sup>3</sup> Department of Orthopedic Surgery and Trauma, Suez University. Egypt

Proximal humeral fractures account for 4–6 % of all fractures and are the third most prevalent fracture pattern in the elderly. Reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) is a frequently utilized surgical procedure for treating this fracture. Aim. To improve the functional outcome and quality of life of patients with acute proximal humeral fractures and post-traumatic sequelae using reverse total shoulder arthroplasty. Subjects and Methods. This comparative study was conducted on a total of 20 patients with 3- or 4-part proximal humeral fractures aged more than 55 years, 10 patients were suffering from acute fractures (group I) and 10 patients with post-traumatic sequelae (group II). All patients were evaluated preoperatively and followed up postoperatively at 6 weeks, 3 months, 6 months and one year for functional outcomes. Radiological, clinical and functional outcomes were assessed by a goniometric range of motion (ROM), Constant-Murley score, and the Arabic version of the Quick DASH score. The rate of postoperative complications and the need for revision surgery were also reported. Results. In group I, the DASH and VAS score declined from 88.30 ( $\pm$  8.23) and 5.90 ( $\pm$  1.28) in the 6th weeks after surgery down to 34.30 ( $\pm$  11.55) and 0.70 ( $\pm$  0.48), respectively after 1 year. The Constant score increased from 14.70 ( $\pm$  5.67) to 67.30 ( $\pm$  14.98). All scores showed almost similar improvements in all three parameters in group II. Moreover, similar improvements in the deltoid muscle power, function and ranges of motion were reported in patients of both groups. Conclusion. Reverse shoulder arthroplasty provides favorable post-operative outcomes among elderly patients with 3-part and 4-part fractures of the proximal humerus. Indication for RTSA will not be affected by whether patients are presenting with acute or post-traumatic sequelae fractures. Level of evidence: Therapeutic study level III.

Травми проксимального відділу плечової кістки становлять 4–6 % усіх переломів і посідають третє місце за поширеністю серед ушкоджень у людей похилого віку. Реверсивне тотальне ендопротезування плечової кістки (RTSA) є часто використовуваною хірургічною процедурою для їхнього лікування. Мета. Покращити функціональний результат та якість життя пацієнтів із переломами проксимального відділу плечової кістки та посттравматичними наслідками за допомогою RTSA. Методи. Це порівняльне дослідження проведено за участю 20 пацієнтів з 3- або 4-уламковими переломами проксимального відділу плечової кістки віком понад 55 років. Хворих розподілили на 2 групи: I — перелом, 10 осіб, II — посттравматичні наслідки (10 випадків). Усі пацієнти були обстежені до втручання та спостерігалися після операції через 6 тижнів, 3 і 6 місяців та один рік. Радіологічні, клінічні та функціональні результати оцінювалися за допомогою гоніометричного діапазону рухів (ROM), шкали Constant-Murley та арабської версії шкали Quick DASH. Також повідомлялося про частоту післяопераційних ускладнень та необхідність повторної операції. Результати. У групі I бал за шкалами DASH та VAS знизився з 88,30 ( $\pm$ 8,23) та 5,90 ( $\pm$ 1,28) через 6 тижнів після операції до 34,30 ( $\pm$ 11,55) та 0,70 ( $\pm$ 0,48) відповідно через рік. Бал за шкалою Constant збільшився з 14,70 ( $\pm$  5,67) до 67,30 ( $\pm$  14,98). Усі показники майже однаково покращилися за всіма трьома параметрами в групі II. Окрім того, у пацієнтів обох груп виявлено зростання функції та діапазону рухів дельтоподібного м'яза. Висновок. Реверсивне ендопротезування плечового суглоба забезпечує сприятливі післяопераційні результати в пацієнтів похилого віку з 3- та 4-уламковими переломами проксимального відділу плечової кістки. Показання до RTSA не залежатимуть від того, чи мають пацієнти гострі чи посттравматичні наслідки переломів. Ключові слова. Переломи проксимального відділу плечової кістки; посттравматичний; реверсивне ендопротезування плечового суглоба.

**Keywords.** Proximal humeral fractures; post-traumatic; acute; reverse shoulder arthroplasty

## Introduction

Proximal humerus fractures (PHFs) are the third most prevalent form of fracture in individuals over 65 years of age, accounting for 4–6 % of all fractures in that population. Furthermore, PHFs are the third most prevalent form of osteoporotic fractures, with a lifetime risk of 13 % for women aged 50 and more [1].

The majority of proximal humerus fractures (stable, minimally displaced fractures) are treated non-operatively, most typically with sling immobilization followed by early and gradual physical therapy and rehabilitation [2].

On the other hand, one of the most commonly used surgical techniques is reverse total shoulder arthroplasty, which has become the preferred treatment for older patients with non-reconstructable PHFs because the patient can achieve excellent motion even with unhealed tuberosities or an incompetent rotator cuff. It can also be used for non-surgical therapy of fracture sequelae and revision of failed HA operations [3].

In addition, reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) has become more popular globally in treating different traumatic and degenerative glenohumeral disorders and irreversible rotator cuff arthropathies [4].

RTSA can be utilized for acute and post-traumatic PHFs. Nevertheless, the functional effects of RTSA in these fractures remain debatable.

Therefore, in our study, we compared the functional outcomes of reverse total shoulder arthroplasty in patients with recent traumatic proximal humerus fractures and posttraumatic sequelae.

### Patients and methods

This comparative prospective study was conducted at the orthopedic emergency department, or the orthopedic outpatient clinic, Suez Canal and Cairo University hospitals following the approval of our Institutional Research Board on 17<sup>th</sup> May 2022 (Approval #ORT/4918). It was conducted on a total of 20 patients aging more than 55 years of age and presenting with proximal humeral fractures: 10 patients having three and four-part proximal humeral fractures (group I) and 10 patients with post-traumatic sequelae in the form of non-union or malunion of the anatomical neck of humerus with minimal calcar hinge, arthritis, or failed hemiarthroplasty (group II). Patients of both groups were managed by Reverse Shoulder System.

Patients with signs of infection around the shoulder, axillary nerve injury, acromial and scapular frac-

tures, paralytic or neurologic disorders that affect prosthesis stability or pathological fractures were excluded from the study.

All study patients were subjected to preoperative evaluation through full history taking and clinical examination. The Modified British Medical Research Council (MRC) Scale was used for assessment of the deltoid muscle power [5]. Painless active range of motion and painless resting position of the limb were tested.

Plain shoulder radiographs (anteroposterior and lateral views) were ordered for all patients. In true AP views, the superior-inferior glenoid bone loss was assessed using the Favard classification which classifies the glenoid bone erosion into five types: from E0 to E4 [6]. The inferior glenoid tilt [7] was assessed using the Habermeyer classification. In the axillary lateral view, the posterior glenoid wear was assessed using Walch classification, which classifies the posterior wear as follows: A1, mild concentric glenoid wear; A2, marked concentric glenoid wear; B1, eccentric posterior glenoid erosion; B2, with a biconcave glenoid; C, greater than 25° retroversion [6]. Our spectrum and focus for group II patients were post-traumatic sequelae of the proximal humerus. Therefore, only glenoid arthritis patients who didn't need any augments or biografting were included, such as patients with Walch types A1 and B1. Patients with types A2, B2 and C were excluded from the study.

Computerized tomography and 3D-CT were ordered to evaluate the glenoid retroversion angle by the Friedman method. An axial computed tomography slice was taken at the level of the tip of the coracoid and a line is drawn from the medial scapula border through the middle of the glenoid. The retroversion was calculated by the angle between the glenoid joint line and the perpendicular of Friedman's line. Glenoid vault depth was measured as follows: Axial slice was used to assess the vault depth (a minimum of 10mm is required for central peg accommodation) [8–11]. MRI was ordered routinely for all patients to assess the condition of the rotator cuff tendons. Splinting was applied, and analgesics were continued till the time of surgery.

### Surgical technique

Under general anesthesia with interscalene block, the patient was placed on a beach chair position at the edge of the table to allow free shoulder movement. A third-generation cephalosporin was given preoperatively. For the acute fracture group, a deltopectoral approach was adopted. An 8–10 cm incision was performed starting from the coracoid process to the deltoid insertion and then through the clavipectoral

facia. Subscapularis bursae were removed, the bicipital groove was identified then biceps tenotomy was done with tenodesis. Greater tuberosity was identified and stay sutures were placed. The rotator interval was identified and opened to the glenoid. Lesser tuberosity was identified and a stay suture in the subscapularis tendon was placed. The biceps tendon is excised down to the glenoid. Four suture loops are passed through the posterosuperior cuff, flush with the tendon insertions onto the greater tuberosity; the needles are removed from two of the loops, which are passed from medial to lateral through the infraspinatus and teres minor, respectively; and the other two loops are passed from lateral to medial through the same tendons. Traction sutures are used to pull the tuberosities apart. The anterior capsule is excised to expose the anterior glenoid rim. Two retractors are placed at the anterior and posterior borders of the glenoid, respectively.

Tuberosities were pulled apart and the labrum was excised to expose the glenoid. Dissecting the capsule from the anterior glenoid down to and around the inferior pole so the upper axillary scapular border could be easily palpated and seen. After removal of the capsule and labrum, a guide wire was drilled 13 mm anterior to the posterior rim and 19 mm above the inferior glenoid rim with 10 degrees inferior tilt. The baseplate of the delta prosthesis was then placed over the guide wire to verify the right position of the central wire. Then we reamed the glenoid to remove only enough bone to make it flat.

The central hole was drilled then we inserted the central peg into the central hole. By using a 2 mm drill bit, a drill was done for the inferior screw after baseplate rotation adjustment to the axillary scapular border. After inferior screw placement, we drilled and then inserted the superior screw into the base of the coracoid process using a similar technique. A trial glenosphere was then inserted over the baseplate and any bone that abuts against the humeral polyethylene was removed.

The conical-shaped cemented trabecular metal reverse humeral stem was implanted in all patients of group I. We gradually increased the size of broaches for the proximal humerus until rotational stability was achieved provided that any cortical contact was avoided. Then a drill hole was made in the humerus for fixation of the tuberosities. Finally, the polyethylene insert was applied, and the wound was irrigated and closed in layers.

For the post-traumatic sequelae group, a similar surgical technique was utilized, but specific technical difficulties were encountered as follows: when a re-

vision of hemiarthroplasty was planned, an extensile deltopectoral approach was adopted. Scar tissue was excised. Close attention was paid to the attachments of the latissimus dorsi, teres major, and pectoralis major tendons. Deltoid muscle was preserved. These should be spared and marked to ensure optimal function following surgery. When dissecting the glenoid capsule, the axillary nerve and its branches were identified and preserved. Complete glenoid visualization required peri-glenoid capsular resection. To expose the base of the coracoid and the anterior glenoid neck, which measured about 3 cm, the subscapularis was peeled off the glenoid neck. The head was hammered and then removed. The humeral stem was loose and was easily removed with an impactor from below without the need for osteotomy. The cement was extracted with a cement removal set. Yet, some blowout of the lateral cortex occurred in one patient. The plug and the distal cement to the tip of hemiarthroplasty left inside the medullary canal. A classical approach for the glenoid reaming and baseplate fixation and glenosphere was adopted. The conical-shaped cemented trabecular metal reverse humeral stem was also inserted in all the patients of both groups. Stability was evaluated following the implantation of the humeral component and joint reduction. Adequate tension was checked by assessing the tension of the soft tissues, such as the conjoint tendon, which is a key stabilizer of the shoulder girdle.

In patients where there was an old anatomical neck fracture malunion or nonunion that was internally fixed, the PHILOS plate was removed and the anatomical neck and tuberosities were osteotomized. Tuberosities were then reattached to the implant and humeral shaft as closely as possible to its anatomic side. The same conical-shaped cemented trabecular metal reverse humeral stem was implanted in those patients.

In patients with arthritis, through a deltopectoral approach, adducting and externally rotating the arm while pushing the elbow forward and upward helped the humeral head to dislocate. To determine the level of humeral resection and the anatomical neck, anterior and inferior osteophytes were excised from the proximal humerus. Typically, the humeral head was removed at a retroversion angle of approximately 30 degrees. The humeral canal was reamed using different reamer sizes and then prepared by humeral stem broaches. A version rod was attached to the broach handle to monitor the version during humerus preparation. A conical-shaped cemented trabecular metal reverse humeral stem was inserted. The steps of glenoid exposure and preparation were similar to patients of group one.

### Post-operative Follow-up

Follow-up visits were planned at 2 weeks, 6 weeks, 3 months, 6 months and one year post-operatively. The sutures were removed two weeks after surgery. An arm sling was applied for the first 6 weeks, during which no active ROM or weightlifting was allowed. Immediate postoperative active motion of the cervical spine, elbow, wrist, and hand were encouraged. Passive extension, elevation, external rotation and internal rotation were postponed till the 6<sup>th</sup> week. Between the 6<sup>th</sup> to 12<sup>th</sup> week, the passive range of motion was continued, and patients started a protected gradual active ROM. After the 12<sup>th</sup> week, strengthening of the muscles around the shoulder was allowed.

### Post-operative Outcome Measures

Radiological outcomes (stability, radiolucency, scapular notching, heterotopic ossifications and other possible complications) were assessed by plain radiography at 2 weeks, 6 weeks, 3 months, 6 months and one-year intervals (example of pre-operative versus post-operative radiological findings after 1 year is presented in Figs. 1 and 2 of patients from group I and Figs. 3, 4, and 5 of patients from group II). Clinical and functional outcomes were assessed by a goniometric range of motion (ROM), Constant-Murley score 10, and the Arabic version of the Quick DASH score 11. The rate of postoperative complications and the need for revision surgery were also reported.

### Statistical analysis

Collected data were coded, entered, and analyzed using Microsoft Excel program software. Data analysis was done by Statistical Package for Social Science (SPSS) version 26.

We conducted the Shapiro-Wilk test and found that our numeric data were normally distributed, accordingly they were represented as mean ( $\pm$  SD). Categorical data were expressed as proportions. Demographic characteristics were compared using the Fisher exact test and the Chi-square test, while the T-test was used for mean differences of the clinical scores. The level of significance using the p-value was statistically significant if it was  $< 0.05$ .

### Results

The patients' demographics are presented in Table 1. Both groups in our study had a comparable age distribution, with Group I having a mean age of  $69.40 \pm 10.57$  years (range: 56–86) and Group II having a mean age of  $70.80 \pm 7.89$  years (range: 56–81). Additionally, we included both males and females. Regarding comorbidities, 4 patients in Group I had no chronic illnesses, while most of the remaining patients suffered from hypertension (3/10). In

Group II, half of the patients were diabetic, and 3 patients had both diabetes and hypertension. Concerning the type of fractures in Group I, 40 % of the patients had 3-part fractures, while 60 % had 4-part fractures, with no head-splitting fractures. Figure 1 represents patient with acute proximal humeral fracture who restored satisfactory function after RTSA. Figure 2 represents another example of acute proximal humeral fracture that is 73-year-old female patient who presented with a 4-part fracture and history of old humeral shaft fixation.

As for post-traumatic sequelae in group II, 40 % of the cases had arthritis, 50 % had malunion, and only 10 % had hemiarthroplasty. The patient with hemiarthroplasty underwent revision surgery by RTSA due to aseptic loosening. The patient had the first surgery 5 years ago and presented with progressive pain and limitation of movement (Fig. 3). Another example is a female patient with secondary advanced shoulder arthritis after reduced shoulder dislocation 5 years ago and underwent RTSA (Fig. 4). Furthermore, a 55-year-old patient presented with a fracture malunion. Radiographs revealed a malunited fracture of the anatomical neck of his right humerus. The malunited anatomical neck was osteomatized and a classic RTSA was performed (Fig. 5).

Table 1

Distribution of the demographic and clinical characteristics in both groups

|                           | Group I (n=10)    | Group II (n=10)  |
|---------------------------|-------------------|------------------|
| Age, years:               |                   |                  |
| Mean+SD                   | 69.40 $\pm$ 10.57 | 70.80 $\pm$ 7.89 |
| Range                     | (56-86)           | (56-81)          |
| Gender:                   |                   |                  |
| Male                      | 4 (40%)           | 5 (50%)          |
| Female                    | 6 (60%)           | 5 (50%)          |
| Chronic illnesses:        |                   |                  |
| Diabetes                  | 2 (20%)           | 5 (50%)          |
| Hypertension              | 3 (30%)           | 1 (10%)          |
| Diabetes and Hypertension | 1 (10%)           | 3 (30%)          |
| No chronic illness        | 4 (40%)           | 1 (10%)          |
| Fracture Type:            |                   |                  |
| 3-part fractures          | 4 (40%)           | —                |
| 4-part fractures          | 6 (60%)           |                  |
| Head-splitting fractures  | 0 (0%)            |                  |
| Post-traumatic sequelae:  |                   |                  |
| Malunion                  | —                 | 5 (50%)          |
| Arthritis                 |                   | 4 (40%)          |
| Hemiarthroplasty          |                   | 1 (10%)          |

Notes: \* Quantitative data are expressed in mean+SD, and range. Qualitative data are presented as numbers (percentage). Group I includes patients with acute proximal humeral fractures. Group II includes patients with post-traumatic sequelae.

There was a marked improvement among the patients in both study groups when we compared their DASH scores at 6, 12, 24, and 48 weeks. However, upon examining the presence of any differences in the DASH score between both groups at each follow-up period, we found no significant difference (table 2).

The VAS score also declined markedly across the follow-up period, however, this improvement

didn't vary significantly between both groups, since similar improvements were noted among the patients in both study groups (table 2).

The results of the Constant-Murley score showed that the patients' total score improved markedly over time. However, this improvement did not vary significantly across both groups (table 2).

The mean range of motions of all patients increased significantly by one year in both groups.

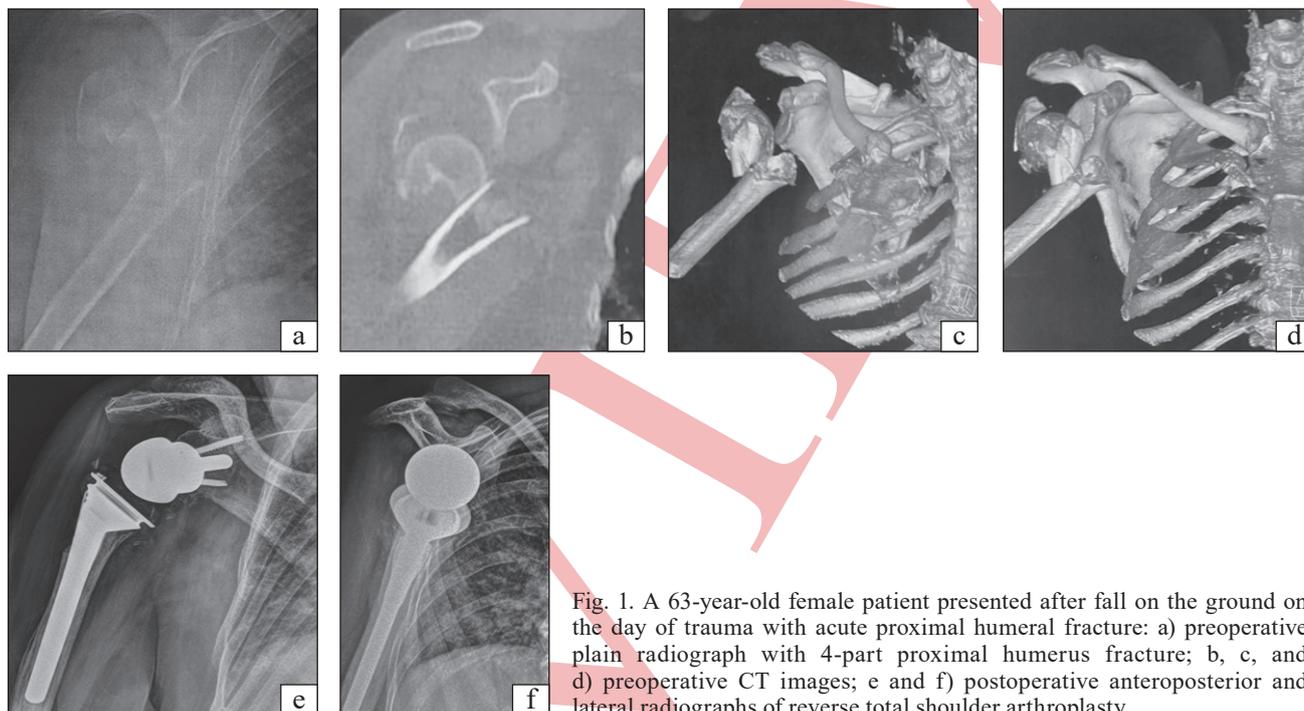


Fig. 1. A 63-year-old female patient presented after fall on the ground on the day of trauma with acute proximal humeral fracture: a) preoperative plain radiograph with 4-part proximal humerus fracture; b, c, and d) preoperative CT images; e and f) postoperative anteroposterior and lateral radiographs of reverse total shoulder arthroplasty

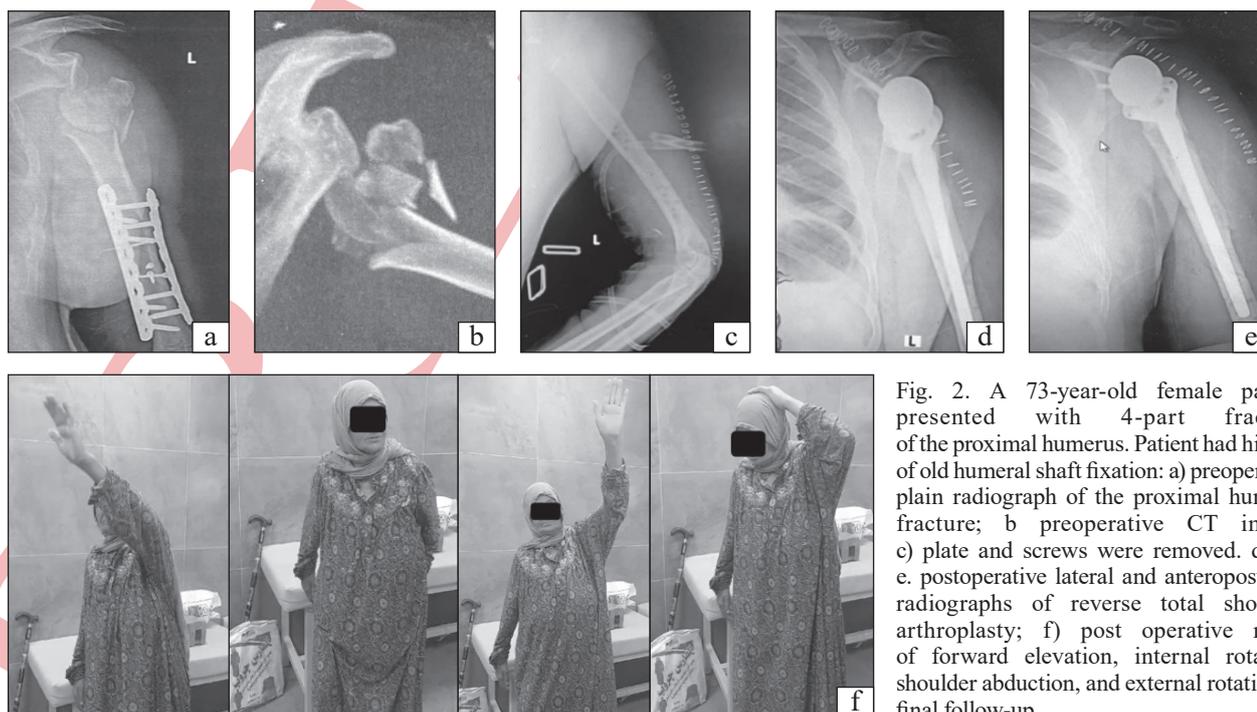


Fig. 2. A 73-year-old female patient presented with 4-part fracture of the proximal humerus. Patient had history of old humeral shaft fixation: a) preoperative plain radiograph of the proximal humeral fracture; b) preoperative CT image; c) plate and screws were removed. d and e. postoperative lateral and anteroposterior radiographs of reverse total shoulder arthroplasty; f) post operative range of forward elevation, internal rotation, shoulder abduction, and external rotation at final follow-up

However, the improvement was slightly and statistically insignificantly higher among patients in group II regarding Abduction and Flexion, while patients in group I had better external rotation and internal rotation ranges (table 3).

**Table 2**  
Distribution of the functional outcome scores at 6, 12 24, and 48 weeks after surgery in both groups

|             | Group I (n = 10)           | Group II (n = 10)         | P value |
|-------------|----------------------------|---------------------------|---------|
|             | Mean (±SD)<br>Range        |                           |         |
| <b>DASH</b> |                            |                           |         |
| 6 weeks     | 88.30 (± 8.23)<br>(73–98)  | 91.00 (± 3.52)<br>(84–95) | 0.359   |
| 12 weeks    | 61.40 (± 11.80)<br>(40–76) | 61.30 (± 8.38)<br>(46–70) | 0.983   |
| 24 weeks    | 37.20 (± 13.16)<br>(19–56) | 39.00 (± 8.27)<br>(23–46) | 0.719   |
| 48 weeks    | 34.30 (± 11.55)<br>(19–52) | 35.80 (± 7.14)<br>(21–42) | 0.732   |
| <b>VAS</b>  |                            |                           |         |
| 6 weeks     | 5.90 (± 1.28)<br>(4–8)     | 5.80 (± 0.78)<br>(5–7)    | 0.837   |
| 12 weeks    | 3.50 (± 1.17)<br>(2–5)     | 3.70 (± 0.82)<br>(3–5)    | 0.665   |
| 24 weeks    | 1.20 (± 0.78)<br>(0–2)     | 1.20 (± 0.42)<br>(1–2)    | 1.000   |
| 48 weeks    | 0.70 (± 0.48)<br>(0–1)     | 0.60 (± 0.51)<br>(0–1)    | 0.660   |
| <b>CS</b>   |                            |                           |         |
| 6 weeks     | 14.70 (± 5.67)<br>(6–25)   | 16.00 (± 3.39)<br>(12–21) | 0.544   |
| 12 weeks    | 37.90 (± 9.93)<br>(25–55)  | 35.30 (± 3.94)<br>(30–41) | 0.457   |
| 24 weeks    | 65.60 (± 16.57)<br>(40–90) | 61.10 (± 6.36)<br>(51–72) | 0.439   |
| 48 weeks    | 67.30 (± 14.98)<br>(45–90) | 62.70 (± 5.92)<br>(54–72) | 0.389   |

Notes: DASH: Disabilities of the Arm Shoulder and Hand; VAS: Visual analogue score; CS: Constant-Murley score. Quantitative data are expressed in mean±SD and range. \* p-value. < 0.05: statistically significant.

**Table 3**

Distribution of the mean range of motion at 6, 12 24, and 48 weeks after surgery in both groups

|                          | Group I (n = 10)              | Group II (n = 10)             | P value |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|
|                          | Mean (±SD)<br>Range           |                               |         |
| <b>Abduction</b>         |                               |                               |         |
| 6 weeks                  | 37.80 (± 14.69)<br>(23–72)    | 36.20 (± 11.25)<br>(26–65)    | 0.788   |
| 12 weeks                 | 89.10 (± 34.95)<br>(40–147)   | 98.50 (± 22.34)<br>(60–131)   | 0.484   |
| 24 weeks                 | 142.70 (± 30.96)<br>(89–175)  | 146.50 (± 15.33)<br>(110–164) | 0.734   |
| 48 weeks                 | 145.50 (± 28.42)<br>(97–175)  | 149.30 (± 13.88)<br>(115–166) | 0.710   |
| <b>Flexion</b>           |                               |                               |         |
| 6 weeks                  | 51.10 (± 29.49)<br>(26–110)   | 41.60 (± 10.98)<br>(29–56)    | 0.360   |
| 12 weeks                 | 92.50 (± 31.92)<br>(58–155)   | 92.40 (± 13.62)<br>(73–119)   | 0.993   |
| 24 weeks                 | 149.20 (± 27.08)<br>(105–180) | 149.10 (± 16.14)<br>(114–167) | 0.992   |
| 48 weeks                 | 152.90 (± 25.54)<br>(113–180) | 156.80 (± 9.31)<br>(145–170)  | 0.659   |
| <b>External rotation</b> |                               |                               |         |
| 6 weeks                  | 12.90 (± 4.55)<br>(6–20)      | 11.60 (± 3.53)<br>(8–18)      | 0.486   |
| 12 weeks                 | 26.80 (± 11.38)<br>(12–45)    | 22.60 (± 4.69)<br>(17–32)     | 0.302   |
| 24 weeks                 | 43.90 (± 15.87)<br>(23–73)    | 40.30 (± 10.36)<br>(27–55)    | 0.557   |
| 48 weeks                 | 44.90 (± 15.82)<br>(24–73)    | 41.70 (± 10.07)<br>(28–55)    | 0.597   |
| <b>Internal rotation</b> |                               |                               |         |
| 6 weeks                  | 27.40 (± 5.89)<br>(21–40)     | 24.60 (± 4.64)<br>(18–32)     | 0.254   |
| 12 weeks                 | 39.70 (± 6.91)<br>(31–55)     | 38.10 (± 3.90)<br>(32–43)     | 0.534   |
| 24 weeks                 | 52.60 (± 11.84)<br>(41–77)    | 51.60 (± 6.81)<br>(42–65)     | 0.820   |
| 48 weeks                 | 55.10 (± 10.58)<br>(44–77)    | 53.70 (± 6.91)<br>(45–69)     | 0.731   |

Notes: Quantitative data are expressed in mean±SD and range. \* p < 0.05: statistically significant.

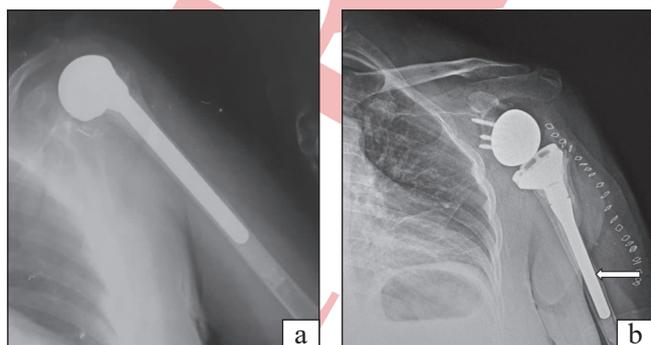


Fig. 3. A 58-year-old male patient presented with aseptic loosening of shoulder hemiarthroplasty: a) preoperative plain radiograph of the hemiarthroplasty; b) postoperative radiographs of reverse total shoulder arthroplasty (arrow indicates lateral cortex blowout during cement extraction)

A significant increase in power and function was noted when comparing the 6-week follow-up results with the one-year follow-up results. Nevertheless, there was no statistically significant difference between both groups in terms of this improvement (table 4).

The improvement in the power and function was higher in group II compared to group I in the 12-, 24-, and 1-year follow-up. On the other hand, the 6-week follow-up results showed patients in group I had more power and function (table 4).

Few intraoperative and postoperative complications occurred. Intraoperatively, in the hemiarthroplasty revision patient, a lateral cortex blow-out occurred while removing the stem. Another patient developed a superficial infection 3 weeks after surgery. Surgical debridement was done. The other two patients in the posttraumatic sequelae group got axillary nerve palsy as proved by postoperative elec-

trophysiological studies. During regular outpatient follow-up visits, one of them regained axillary nerve functions 2 months after surgery without any further interventions. The other patient needed axillary neurotization from the radial nerve branch to the medial head of the triceps. He regained satisfactory functional outcomes 6 months later.

### Discussion

We successfully improved the postoperative outcomes of all our recruited patients regarding the range of movement, pain, and functional scores following RTSA. Nevertheless, we found no statistically significant difference in the outcomes of patients in terms of the onset of injury (acute fracture versus post-traumatic sequelae).

Treatment for acute proximal humeral fractures has been extensively described in the literature, and RSA has been proposed as a surgical option for acute

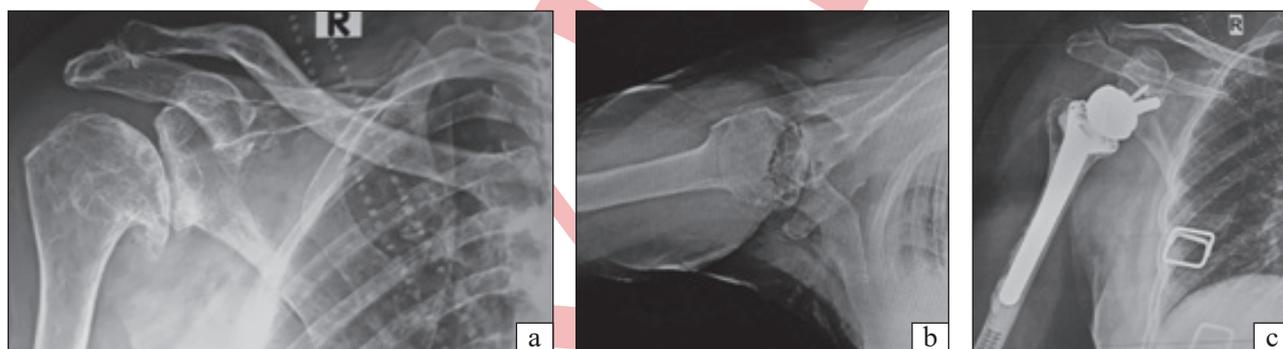


Fig. 4. A 66-year-old female patient with secondary advanced osteoarthritis after old reduced anterior shoulder dislocation: a and b) preoperative plain anteroposterior and axillary radiographs with advanced osteoarthritis of the shoulder; c) postoperative radiograph of reverse total shoulder arthroplasty; d) post operative range of shoulder abduction, external rotation, forward elevation and internal rotation, at final follow-up

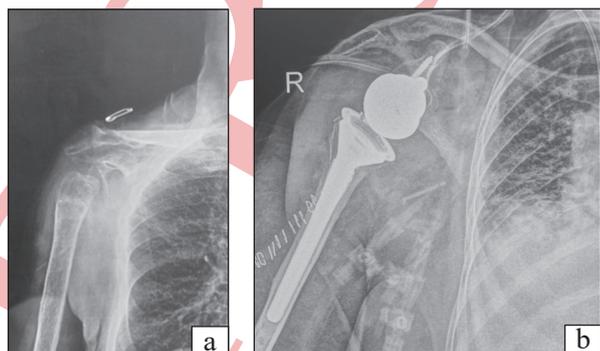


Fig. 5. A 55-year-old male patient with a fracture malunion of the anatomical neck of his right humerus: a) preoperative plain radiograph of the fracture; b) postoperative radiograph of reverse total shoulder arthroplasty

Table 4  
Distribution of the deltoid muscle power  
and function domains of the Constant score  
at 6, 12 24, and 48 weeks after surgery in both groups

|          | Group I (n = 10)               | Group II (n = 10)              | P value |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|---------|
|          | Mean ( $\pm$ SD)<br>Range      |                                |         |
| Power    |                                |                                |         |
| 6 weeks  | 0.60 ( $\pm$ 0.69)<br>(0–2)    | 0.20 ( $\pm$ 0.42)<br>(0–1)    | 0.142   |
| 12 weeks | 5.70 ( $\pm$ 3.05)<br>(2–11)   | 6.10 ( $\pm$ 2.60)<br>(2–10)   | 0.756   |
| 24 weeks | 16.20 ( $\pm$ 6.54)<br>(4–22)  | 16.50 ( $\pm$ 5.23)<br>(7–23)  | 0.911   |
| 48 weeks | 17.00 ( $\pm$ 5.61)<br>(7–22)  | 17.40 ( $\pm$ 4.62)<br>(9–23)  | 0.864   |
| Function |                                |                                |         |
| 6 weeks  | 1.30 ( $\pm$ 1.15)<br>(0–4)    | 1.00 ( $\pm$ 0.47)<br>(0–2)    | 0.463   |
| 12 weeks | 7.20 ( $\pm$ 2.14)<br>(0–4)    | 7.20 ( $\pm$ 1.31)<br>(5–9)    | 1.000   |
| 24 weeks | 13.40 ( $\pm$ 3.13)<br>(8–18)  | 13.70 ( $\pm$ 2.54)<br>(10–17) | 0.817   |
| 48 weeks | 14.50 ( $\pm$ 2.71)<br>(10–18) | 14.80 ( $\pm$ 2.25)<br>(11–18) | 0.791   |

Notes: Quantitative data are expressed in mean+SD and range. \*  $p < 0.05$ : statistically significant.

complex fractures in elderly patients 1, 2, 12, 13. However, the treatment of the post-traumatic sequelae is a challenge for the surgeon and the literature on this topic is limited.

Sebastia-Forcada conducted a matched case-control study designed to investigate the outcomes of secondary RSA after failed internal fixation for proximal humeral fractures. They found that at the 2-year follow-up, the mean clinical scores in the sequelae group were significantly lower than in the acute group although the differences were not clinically relevant. This was similar to our findings but at the 6-week follow-up, because in the following periods in our study, the post-traumatic group showed better scores and clinical outcomes.

In the sequelae group in Sebastia-Forcada's study, the Constant and DASH scores significantly improved from preoperative to postoperative. At the 2-year follow-up, all the patients except one achieved improvement in the range of motion. While one patient had anterior forward and abduction less than 90 degrees. At the last follow-up, 28 patients (93.3 %) were satisfied with the results of their RSA, and 2 were dissatisfied. They also reported that there were no significant differences in postoperative pain, motion, or ability for activities of daily living in the subgroup of pa-

tients younger than 70 years in comparison to those older than [14].

Paszicsnyek et al carried out a matched cohort analysis study which included a group of patients suffering from acute and post-traumatic sequelae. In that study, they performed a subgroup analysis of the fracture group to examine the difference in range of motion and outcome scores. Like our results, they found no significant difference, despite detecting a general tendency towards superior outcome scores for the acute fracture [15].

Although previous studies reported worse outcomes and higher complication rates have been reported after arthroplasties for fracture sequelae compared with arthroplasties for acute fractures like the study by Nikola et al who included 40 patients in their study, who were treated with reverse shoulder arthroplasty for sequelae of proximal humeral fracture and acute fracture [16].

As our results, Nikola et al results showed that a group of patients treated with RSA without previous surgery in comparison with patients treated with RSA after previous surgery had better functional results. Where the external rotation was 24°, active elevation was 102°, and internal rotation was up to L4 in all patients. In patients without previous surgery treated with RSA, elevation was 116°, external rotation 24°, internal rotation up to L3. In patients with previous surgery treated with RSA, elevation was 84°, external rotation 19°, internal rotation up to L4. These findings are not statistically significant [16].

In their patients with acute fracture treated with RSA elevation was 124°, external rotation 28°, internal rotation up to L4. In patients with chronic or sequelae of the fractures treated with RSA elevation was 114°, external rotation 28°, internal rotation up to L3. They also reported that the differences between these two groups are not significant. Our patients too had an external rotation of 26.80° and internal rotation of 39.70° after 12 weeks in the acute fracture group, while in group II, we found decreased ranges, where the mean external rotation was 22.6° and the mean internal rotation was 38.1°.

The constant score in all their patients was 54. The constant score in patients without previous surgery treated with RSA was 68 and with previous surgery was 42. This was similar to our findings, where the mean constant score in group II was 62.70 after 1 year, but in group I our patients had a better score than that reported by Nikola et al [16].

Despite the differences in the functional and clinical outcomes between both groups, whether in our study or previous studies, are statistically insignifi-

cant, the better outcome in the acute fracture group could be attributed to the bone quality and muscle balance of the patients in the post-traumatic sequelae. Previously surgically treated patients had scar tissue, shortening of the soft tissue and malunion bone abnormalities. Furthermore, it is elaborated that functional results are better if tuberosities of the humerus are preserved [12–16].

This study was a prospective comparative study which represented a strength along with using objective and subjective measures for assessment of patients' outcomes. Additionally, no patients were lost to follow-up. The equal distribution of males and females across both our study groups represented a major strength by reducing the possible bias that could be attributed to the influence of gender on postoperative outcomes.

Nevertheless, our study used a small sample size which represents a limitation. Therefore, future research including larger sample sizes and extended follow-up periods is necessary to better define the indications for surgery and RTSA in PHFs.

## Conclusion

Reverse shoulder arthroplasty provides favorable post-operative outcomes among elderly patients suffering from acute 3-part, and 4-part fractures of the proximal humerus. Furthermore, the indication for RTSA will not be affected by whether patients are suffering from acute or post-traumatic sequelae fractures.

All ranges of motion were similarly improved in both groups. The mean DASH score dropped from 88.3 and 91 preoperatively to 34.3 and 35.8 at final follow-up, in groups I and II, respectively. The VAS score decreased from 5.9 and 5.8 in groups I and II, respectively, to less than one, indicating improvement in pain after surgery. The Constant-Murley score increased from 14.7 and 16 to 67.3 and 62.7 in groups I and II, respectively, indicating similar restoration of satisfactory function. A few complications occurred in 4 patients of group II including superficial infection, axillary nerve palsy and lateral cortex blow-out.

Conflict of interest. All authors, their immediate family, and any research foundation with which they are affiliated did not receive any financial payments or other benefits from any commercial entity related to the subject of this article.

## References

- Kim, M., Smolev, E., Al-Humadi, S., Tantone, R. P., Park, H., Ling, K., ... Wang, E. D. (2024). Predictors of extended length of stay following open reduction and internal fixation for proximal humerus fractures. *Journal of hand surgery global online*, 6(2), 195–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2023.11.013>
- Baker, H. P., Gutbrod, J., Strelzow, J. A., Maassen, N. H., & Shi, L. (2022). Management of proximal humerus fractures in adults — A scoping review. *Journal of clinical medicine*, 11(20), 6140. <https://doi.org/10.3390/jcm11206140>
- Orman, S., Mohamadi, A., Serino, J., Murphy, J., Hanna, P., Weaver, M. J., ... Keudell, A. V. (2019). Comparison of surgical and non-surgical treatments for 3- and 4-part proximal humerus fractures: A network meta-analysis. *Shoulder & Elbow*, 12(2), 99–108. <https://doi.org/10.1177/1758573219831506>
- Best, M. J., Aziz, K. T., Wilckens, J. H., McFarland, E. G., & Srikumaran, U. (2021). Increasing incidence of primary reverse and anatomic total shoulder arthroplasty in the United States. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 30(5), 1159–1166. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.08.010>
- Kiper, P., Rimini, D., Falla, D., Baba, A., Rutkowski, S., Maistrello, L., & Turolla, A. (2021). Does the score on the MRC strength scale reflect instrumented measures of maximal torque and muscle activity in post-stroke survivors? *Sensors*, 21(24), 8175. <https://doi.org/10.3390/s21248175>
- Walch, G., Collotte, P., Raiss, P., Athwal, G. S., & Gauci, M. O. (2020). The characteristics of the Favard E4 glenoid morphology in cuff tear arthropathy: A CT study. *Journal of clinical medicine*, 9(11), 3704. <https://doi.org/10.3390/jcm9113704>
- Walter, N., Szyski, D., Kurtz, S. M., Lowenberg, D. W., Alt, V., Lau, E., & Rupp, M. (2023). Proximal humerus fractures – epidemiology, comparison of mortality rates after surgical versus non-surgical treatment, and analysis of risk factors based on Medicare registry data. *Bone & joint research*, 12(2), 103–112. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.122.bjr-2022-0275.r1>
- Makki, D., Balbisi, B., Arshad, M. S., Monga, P., Bale, S., Trail, I., & Walton, M. (2021). Assessing the required glenoid peg penetration in native scapula when bone Graft is used during primary and revision shoulder arthroplasty. *Shoulder & Elbow*, 14(3), 268–276. <https://doi.org/10.1177/1758573220987557>
- Keller, D. M., Saad, B. N., Hong, I. S., Gencarelli, P., Tang, A., Jankowski, J. M., Liporace, F. A., & Yoon, R. S. (2023). Comparison of outcomes after reverse total shoulder arthroplasty in patients with proximal humerus fractures versus rotator cuff arthropathy. *JAAOS: Global Research and Reviews*, 7(10). <https://doi.org/10.5435/jaaosglobal-d-23-00160>
- Lu, V., Jegatheesan, V., Patel, D., & Doms, P. (2023). Outcomes of acute vs. delayed reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus fractures in the elderly: A systematic review and meta-analysis. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 32(8), 1728–1739. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2023.03.006>
- Barger, J., Stenquist, D. S., Mohamadi, A., Weaver, M. J., Dyer, G. S., & Von Keudell, A. (2021). Acute versus delayed reverse total shoulder arthroplasty for the management of proximal humerus fractures. *Injury*, 52(8), 2272–2278. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.05.040>
- Mayfield, C. K., Liu, K. C., Hwang, N. M., Bolia, I. K., Gamradt, S. C., Weber, A. E., Liu, J. N., & Petrigliano, F. A. (2024). Reverse total shoulder arthroplasty for proximal humerus fracture: A complex episode of care associated with increased surgical and medical complications. *Seminars in arthroplasty: JSES*, 34(2), 313–320. <https://doi.org/10.1053/j.sart.2023.12.002>
- Bolam, S. M., Wells, Z., Tay, M. L., Frampton, C. M., Coleman, B., & Dalgleish, A. (2024). Reverse total shoulder arthroplasty for acute proximal humeral fracture has comparable 10-year outcomes to elective indications: Results from the New Zealand joint registry. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 33(9), 1946–1954. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2024.01.024>
- Sebastia-Forcada, E., Lizaur-Utrilla, A., Cebrian-Gomez, R., Miralles-Muñoz, F. A., & Lopez-Prats, F. A. (2017). Outcomes

- of reverse total shoulder arthroplasty for proximal humeral fractures: Primary arthroplasty versus secondary arthroplasty after failed proximal humeral locking plate fixation. *Journal of orthopaedic trauma*, 31(8), e236–e240. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000858>
15. Paszicsnyek, A., Krieblich, P., Razaiean, S., Ernstbrunner, L., Wieser, K., & Borbas, P. (2023). Reverse total shoulder arthroplasty for proximal humeral fractures and Sequelae compared to non-fracture indications: A matched cohort analysis of outcome and complications. *Journal of clinical medicine*, 12(6), 2097. <https://doi.org/10.3390/jcm12062097>
16. Nikola, C., Hrvoje, K., & Nenad, M. (2014). Reverse shoulder arthroplasty in acute fractures provides better results than in revision procedures for fracture sequelae. *International orthopaedics*, 39(2), 343–348. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2649-7>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>17.07.2024 | Отримано після рецензування<br>15.10.2024 | Прийнято до друку<br>27.11.2025 |
|---|---|---------------------------------|

## FUNCTIONAL OUTCOMES OF REVERSE TOTAL SHOULDER ARTHROPLASTY IN ACUTE PROXIMAL HUMERAL FRACTURES VERSUS POST-TRAUMATIC SEQUELAE

Ahmed Adel Abdelaty Abdo <sup>1</sup>, Tarek Abdelaziz <sup>1</sup>, Mohamed Omar Soliman <sup>2</sup>,  
Mohamed Ibrahim Rakha <sup>1</sup>, Asser Abdelhay Sallam <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Orthopedic Surgery and Trauma, Suez Canal University, Ismailia. Egypt

<sup>2</sup> Department of Orthopedic Surgery and Trauma, Cairo University. Egypt

<sup>3</sup> Department of Orthopedic Surgery and Trauma, Suez University. Egypt

\* Ahmed Adel Abdelaty Abdo, MSC: [ahmedozadeloz2013@gmail.com](mailto:ahmedozadeloz2013@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0407-0340>

\* Tarek Abdelaziz, MD: [tareksh64@yahoo.com](mailto:tareksh64@yahoo.com); <https://orcid.org/0009-0001-3230-0791>

\* Mohamed Omar Soliman, MD: [omarsoli@hotmail.com](mailto:omarsoli@hotmail.com); <https://orcid.org/0009-0006-0797-0255>

\* Mohamed Ibrahim Rakha, MD: [mohrakha2005@gmail.com](mailto:mohrakha2005@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-9225-7393>

\* Asser Abdelhay Sallam, MD, PhD: [assersallam@hotmail.com](mailto:assersallam@hotmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-0936-8296>

УДК 616.711-001.5-073.763.5(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026143-52>

## Рентгеноморфометричне прогнозування виникнення нових компресійних переломів тіл хребців після вертебропластики

А. І. Попов<sup>1</sup>, М. В. Молодюк<sup>1</sup>, В. О. Куценко<sup>1</sup>, Р. В. Златнік<sup>1</sup>, М. М. Нессонова<sup>2</sup><sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків<sup>2</sup> Приватний вищий навчальний заклад «Харківський міжнародний медичний університет». Україна

New vertebral compression fractures (NVCF) following percutaneous vertebroplasty (PVP) remain a clinical challenge. Methods. A retrospective cohort study (2023–2025) was conducted at the Institute of Spine and Joint Pathology, Ukraine, involving 26 patients (24 females, 2 males; mean age  $(69.04 \pm 2.04)$  years) with osteoporotic vertebral compression fractures treated with PVP. Morphometric parameters of 99 vertebrae were assessed on digital radiographs (frontal/sagittal, RadiAnt DICOM Viewer, precision 0.1 mm / 0.1°): anterior ( $h_a$ ), middle ( $h_m$ ), posterior ( $h_p$ ) heights, relative compression (%), wedge index, local kyphotic angle, thoracic kyphosis, lumbar lordosis, and scoliosis. Results. NVCF occurred in 46.2 % of cases (45 fractures in 12 patients). Significant differences between NVCF and non-NVCF groups were observed for  $h_a$  compression ( $20.69 \pm 1.16$  mm vs.  $23.89 \pm 0.78$  mm,  $p = 0.0338$ ),  $h_m$  ( $17.84 \pm 1$  mm vs.  $21.31 \pm 0.61$  mm,  $p = 0.0021$ ),  $h_p$  ( $26.97 \pm 0.81$  mm vs.  $29.61 \pm 0.51$  mm,  $p = 0.0073$ ), lumbar lordosis ( $44.4^\circ \pm 1.52^\circ$  vs.  $38.28^\circ \pm 1.46^\circ$ ,  $p = 0.01$ ), and scoliosis ( $7.53^\circ \pm 0.56^\circ$  vs.  $5.90^\circ \pm 0.48^\circ$ ,  $p = 0.022$ ). The linear discriminant functions model, based on  $h_m$  (canonical correlation =  $-0.863$ ) and relative  $H_a$  compression (canonical correlation =  $0.139$ ), achieved Wilks'  $\Lambda = 0.8$  ( $\chi^2 = 15.77$ ,  $p = 0.000376$ ), classification accuracy of 76.25 % (sensitivity 76.9 %, specificity 75.9 %), and AUC =  $0.754 \pm 0.058$ . Adjusted function:  $F = 6.07 - 0.28 \times h_m$  (mm)  $- 0.035 \times H_a$  (%);  $F > 0$  indicates NVCF risk. Other parameters were excluded due to low discriminatory power or collinearity. Conclusion. This two-parameter model, using  $h_m$  and relative  $H_a$  compression, offers moderate predictive accuracy for NVCF post-PVP. Its simplicity suits resource-limited Ukrainian clinics. External validation and inclusion of confounders (e. g., BMD, therapy) are required for broader adoption. Keywords. Percutaneous vertebroplasty, new vertebral compression fractures, radiographic morphometry, discriminant functions analysis, osteoporosis.

Нові компресійні переломи хребців (НКПХ) після пункційної вертебропластики (ПВП) є серйозною проблемою вертебології. Методи. У ретроспективне когортне дослідження (2022–2023 р.) включено 26 пацієнтів (24 жінки, 2 чоловіки; середній вік  $(69,04 \pm 2,04)$  роки) з остеопоротичними компресійними переломами хребців, яким виконувалася ПВП. Вивчено морфометричні параметри 99 хребців на цифрових рентгенограмах: висоти  $h_a$  (передня),  $h_m$  (середня),  $h_p$  (задня), відносна компресія  $H_a$ ,  $H_m$ ,  $H_p$  (%), ІК, локальний кіфотичний кут, грудний кіфоз, поперековий лордоз, сколіоз. Результати. Частота НКПХ склала 46,2 % (45 переломів у 12 пацієнтів). Значущі відмінності між групами з/без НКПХ виявлено для висоти  $h_a$  ( $20,69 \pm 1,16$  проти  $(23,89 \pm 0,78)$  мм,  $p = 0,0338$ ),  $h_m$  ( $17,84 \pm 1$  проти  $(21,31 \pm 0,61)$  мм,  $p = 0,0021$ ),  $h_p$  ( $26,97 \pm 0,81$  проти  $(29,61 \pm 0,51)$  мм,  $p = 0,0073$ ), поперекового лордозу ( $44,4^\circ \pm 1,52^\circ$  проти  $38,28^\circ \pm 1,46^\circ$ ,  $p = 0,01$ ) та сколіозу ( $7,53^\circ \pm 0,56^\circ$  проти  $5,90^\circ \pm 0,48^\circ$ ,  $p = 0,022$ ). Дискримінантна модель, яка базується на  $h_m$  (канонічна кореляція =  $-0,863$ ) та відносній компресії  $H_a$  (канонічна кореляція =  $0,139$ ), мала  $\Lambda$  Уїлкса =  $0,8$  ( $\chi^2 = 15,77$ ,  $p = 0,000376$ ), точність класифікації 76,25 % (чутливість 76,9 %, специфічність 75,9 %), AUC =  $0,754 \pm 0,058$ . Спрощена функція:  $F = 6,07 - 0,28 \times h_m$  (мм)  $- 0,035 \times H_a$  (%);  $F > 0$  свідчить про ризик НКПХ. Інші параметри виключено через низьку дискримінаційну цінність або колінеарність. Розроблено веб застосунок для прогнозування НКПХ. Висновки. Двопараметрична модель на основі висоти  $h_m$  та відносної компресії  $H_a$  забезпечує помірну прогностичну точність для виявлення ризику НКПХ після ПВП. Простота моделі робить її придатною для клінік із обмеженими ресурсами. Для впровадження потрібна зовнішня валідація та врахування додаткових чинників (мінеральна щільність кісткової тканини, терапія).

Ключові слова. Пункційна вертебропластика, нові компресійні переломи, рентгеноморфометрія, дискримінантний аналіз, остеопороз

## Вступ

Пункційна вертбропластика (ПВП) є золотим стандартом малоінвазивного лікування остеопоротичних компресійних переломів хребців (КПХ), забезпечуючи швидке знеболення, стабілізацію ураженого сегмента й раннє відновлення функціональної активності пацієнтів [1]. За даними реєстрів США та Європи, щорічно виконується понад 300 000 процедур ПВП, водночас їх клінічна ефективність сягає 85–95 % у короткостроковій перспективі [2, 3].

Проте довгострокові результати ПВП ускладнюються розвитком нових компресійних переломів хребців (НКПХ), що становить значну клінічну проблему сучасної вертебрології. Згідно з найновішими даними 2024–2025 р., частота повторних симптомних втручань після ПВП коливається від 14,6 до 22,2 % протягом 1–2 років спостереження [4, 5]. Великомасштабне дослідження когорти  $n > 30\,000$  пацієнтів продемонструвало, що 15,5 % випадків потребували повторного втручання протягом 24 міс. після первинної ПВП [4].

Рентгеноморфометричний аналіз залишається базовим методом оцінки рентгеноморфометричних показань (РМП) хребців і ступеня компресії. Класичні параметри, запропоновані Н. К. Genant і співавт., включають абсолютну та відносну компресію, індекс клиноподібності та співвідношення висот переднього і заднього країв хребця [5]. Переваги цього підходу включають доступність для лікарень із низьким забезпеченням і стандартизованістю вимірювань [6].

Сучасні системи автоматизованого морфометричного аналізу на основі штучного інтелекту дозволяють узагальнити вимірювання та зменшити міжоператорську варіабельність до менше ніж 5 % [7]. Y. Yang і співавт. продемонстрували, що МРТ-текстурний аналіз у поєднанні з морфометричними параметрами досягає  $AUC \approx 0,80$  для прогнозування ризику переломів у пацієнтів з остеопорозом [8].

Багатовимірний дискримінантний аналіз (БДА) є класичним статистичним методом для класифікації та прогнозування, який широко застосовується в медичних дослідженнях. На відміну від складних алгоритмів машинного навчання, він забезпечує прозорість математичних розрахунків і легкість інтерпретації результатів [9]. Цей метод особливо ефективний під час роботи з невеликими вибірками й обмеженою кількістю параметрів, що робить його доцільним для клінічної практики [10].

Попри прогрес у розробці прогностичних моделей НКПХ, більшість існуючих підходів характеризуються високою складністю та потребують значних ресурсів для впровадження. Зауважимо, що інформації щодо досліджень саме українських пацієнтів майже немає.

Розробка простої, але ефективної моделі прогнозування на основі РМП, що може бути легко інтегрована в рутинну клінічну практику українських медичних закладів, є актуальним завданням.

Мета: визначити прогностичні рентгеноморфометричні параметри хребців після пункційної вертбропластики, які можуть асоціюватися з ризиком виникнення нових компресійних переломів тіл хребців і розробити модель для їх прогнозування.

## Матеріал і методи

Дослідження розглянуто та схвалено на засіданні комітету з біоетики та деонтології ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (протокол № 260 від 23.02.2026 р.). Усі пацієнти надали письмову згоду на проведення обстеження, лікування та використання медичних даних у науковому дослідженні.

Це ретроспективне когортне дослідження проводилося на базі відділення вертебрології ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» з 2022 по 2023 рік. Розмір вибірки складав 26 хворих (24 жінки, 2 чоловіки; середній вік  $(69,04 \pm 2,04)$  роки, діапазон 46–85), яким проводилась ПВП із приводу КПХ унаслідок остеопорозу. Діагноз «остеопороз» підтверджували за допомогою двоенергетичної рентгенівської абсорбціометрії на кістковому денситометрі Explorer QDR W. Середній час спостереження складав 12 міс., НКПХ діагностувались під час контрольних оглядів через 1, 3, 6, 12 міс. після ПВП. У досліджуваній когорті, 12  $(46,2 \pm 9,8)$  % випадків було верифіковано загалом 45 НКПХ у грудному та поперековому відділах хребта.

Вивчено РМП 99 пролікованих хребців грудного та поперекового відділів хребта. Критерії включення: пацієнти після ПВП з приводу КПХ унаслідок остеопорозу. Критерії виключення: ПВП через злоякісні або травматичні переломи.

У попередній публікації ми встановили, що низька мінеральна щільність кісткової тканини (МЩКТ), відсутність антиостеопоротичної

терапії та похилий вік пацієнтів підвищують ризик виникнення НКПХ у два рази, а наявність витоку кісткового цементу — майже утричі [11]. З огляду на це, зазначені показники не включалися до вивчення в межах цієї роботи.

Рентгеноморфометричне дослідження

Аналіз РМП базувався на цифрових рентгенограмах грудного та поперекового відділів хребта, отриманих у двох стандартних проекціях: фронтальній та сагітальній. Знімки проводилися в положенні стоячи (або лежачи для пацієнтів з обмеженою рухливістю). Рентгенограми отримували на трьох етапах: до процедури ПВП, негайно після операції та під час контрольних візитів (через 1, 3, 6 та 12 міс.). До аналізу були включені лише рентгенограми після ПВП. Роздільна здатність зображень відповідала клінічним стандартам (0,1–0,2 мм/рх), що забезпечувало точність вимірювань.

Критерії якості зображень: чітка візуалізація контурів замикальних пластинок; симетричне зображення остистих відростків (відхилення < 5 мм); відсутність артефактів накладання ребер на тіла хребців і рухових артефактів; контрастність, що дозволяє розрізнити кіркові та губчасті структури.

РМП вимірювалися за допомогою програмного забезпечення RadiAnt DICOM Viewer (версія 2023.1), яке дозволяло проводити лінійні та кутові вимірювання з точністю до 0,1 мм і 0,1°. Нижче наведено детальний опис вимірюваних параметрів.

Висота хребця ( $h_a$ ,  $h_m$ ,  $h_p$ ). Вимірювання проводилися як на хребцях після ПВП, так і на інтактних. Останні використовувалися як референтні значення для розрахунку відсоткової компресії згідно з методом Н. К. Genant і співавт., що дозволило стандартизувати вимірювання між пацієнтами [5].

На сагітальній рентгенограмі визначали верхню та нижню замикальні пластинки хребця. Висоти вимірювали як вертикальні відстані між відповідними точками:

–  $h_a$  (передня висота) — від переднього краю краніальної пластинки до переднього краю каудальної пластинки;

–  $h_m$  (середня висота) — у середині хребця (медіальна частина);

–  $h_p$  (задня висота) — від заднього краю краніальної пластинки до заднього краю каудальної пластинки.

Для нормалізації висоти порівнювали з відповідними значеннями сусіднього не зламаного хребця.

Відносна компресія (%) визначалася як відсоток втрати висоти відносно референтної. Наприклад, відносна компресія  $H_a$  знаходилася за формулою (1):

$$H_a(\%) = \left( \frac{h_{a(\text{сусіднього})} - h_{a(\text{ушкодженого})}}{h_{a(\text{сусіднього})}} \right) \times 100, \quad (1)$$

де  $h_{a(\text{сусіднього})}$  — передня висота тіла інтактного хребця (мм);  $h_{a(\text{ушкодженого})}$  — передня висота тіла хребця після ПВП (мм).

Аналогічно визначався відсоток відносної компресії для  $H_m$  і  $H_p$ .

Індекс клиноподібності (ІК) (%). Для визначення клиноподібності хребців використали рентгенографію в сагітальній проекції. Вимірювали висоту  $h_a$  та  $h_p$ . ІК розраховували за формулою (2):

$$IK = \frac{h_a}{h_p} \times 100. \quad (2)$$

Результати виражено у відсотках, де  $IK < 80\%$  свідчить про клиноподібну деформацію.

Локальний кіфотичний кут вимірювався як кут Кобба, сформований між лінією, перпендикулярною до краніальної замикальної пластинки сусіднього проксимального хребця, та лінією, перпендикулярною до каудальної замикальної пластинки сусіднього дистального хребця, на сагітальній рентгенограмі.

Грудний кіфоз оцінювався як кут Кобба між краніальною пластинкою  $T_{IV}$  і каудальною  $T_{XII}$  на сагітальній проекції.

Поперековий лордоз вимірювався між краніальною пластинкою  $L_1$  і каудальною  $L_v$ .

Сколиоз визначався як кут Кобба між перпендикулярними лініями до краніальної та каудальної пластинок найбільш нахилених хребців у криві на фронтальній проекції.

Статистичний аналіз даних проводився за допомогою програми Statistica 13. Для перевірки нормальності розподілу показників використовувався критерій Шапіро-Уїлка. Для парних порівнянь груп залежно від наявності нового перелому застосовували непараметричний критерій Манна-Уїтні. Статистично значущими вважалися відмінності за рівня похибки I роду  $p < 0,05$ .

Для побудови математичної моделі прогнозування НКПХ використовувався БДА. Оцінка якості побудованої моделі проводилася за допомогою ROC-аналізу засобами веб-інструмента easyROC 1.3.1.

Для практичного застосування розробленої моделі прогнозування НКПХ створено веб-застосунок «Калькулятор ризику перелому». Додаток реалізовано з використанням технологій HTML, CSS та JavaScript і доступний як автономна веб-сторінка, яку можна інтегрувати в системи медичних закладів. Користувачський інтерфейс включає поля для введення значень  $h_m$  та  $H_a$ , кнопку для обчислення та ділянку відображення результату.

## Результати

Вивчення закону розподілу показників за допомогою критерію Шапіро-Уїлка показало, що лише половина з них коректна. Оскільки найвагоміші з клінічної точки зору дані, такі як ІК, а також  $h_a$ ,  $h_m$ ,  $h_p$  мали нормальний закон розподілу, то для описових статистик окрім медіан ( $Me$ ) і міжквартильних інтервалів ( $[LQ; UQ]$ ) використовувалися також середні значення ( $M$ ) та стандартні похибки середніх ( $m$ ) (табл. 1).

Таблиця 1

Описові статистики порівнюваних груп з та без повторного перелому

| Показник                                      | НКПХ  |                         |              |    |                         |               | p<br>(критерій<br>Манна-Уїтні) |
|---|-------|-------------------------|--------------|----|-------------------------|---------------|--------------------------------|
|   | немає |                         |              | є  |                         |               |                                |
|   | n     | Me<br>[LQ; UQ]          | M ± m        | n  | Me<br>[LQ; UQ]          | M ± m         |                                |
| 1   | 2     | 3                       | 4            | 5  | 6                       | 7             | 8                              |
| Вік, років                                    | 14    | 67,5<br>[59,0; 76,0]    | 67,7 ± 3,2   | 12 | 74,0<br>[63,0; 78,5]    | 70,60 ± 2,50  | 0,462000                       |
| Грудний кіфоз, град,                          | 21    | 52,50<br>[26,20; 64,00] | 44,62 ± 5,01 | 21 | 45,00<br>[44,90; 56,00] | 50,00 ± 3,02  | 0,900980                       |
| * Поперековий лордоз, град,                   | 33    | 38,70<br>[34,90; 43,20] | 38,28 ± 1,46 | 40 | 43,00<br>[40,00; 45,30] | 44,4 ± 1,52   | 0,009467                       |
| * Сколіоз, град,<br>(усі дані)                | 49    | 5,50<br>[2,90; 7,40]    | 5,90 ± 0,48  | 41 | 7,50<br>[5,50; 10,70]   | 7,53 ± 0,56   | 0,0219400                      |
| – грудний відділ,                             | 21    | 5,30<br>[4,00; 6,00]    | 5,49 ± 0,60  | 23 | 7,00<br>[4,50; 8,60]    | 6,69 ± 0,71   | 0,111589                       |
| – поперековий відділ,                         | 28    | 5,75<br>[2,80; 8,40]    | 6,21 ± 0,70  | 18 | 9,10<br>[5,60; 12,70]   | 8,61 ± 0,85   | 0,073117                       |
| Локальний кіфотичний кут, град,<br>(усі дані) | 53    | 14,30<br>[8,90; 20,70]  | 14,71 ± 1,07 | 17 | 18,35<br>[8,80; 26,80]  | 18,00 ± 1,74  | 0,156685                       |
| – * грудний відділ,                           | 22    | 16,20<br>[7,90; 19,30]  | 15,69 ± 1,76 | 22 | 20,50<br>[13,80; 27,10] | 20,75 ± 1,86  | 0,035627                       |
| – поперековий відділ,                         | 31    | 13,60<br>[8,90; 20,70]  | 14,02 ± 1,35 | 18 | 12,25<br>[3,40; 25,90]  | 14,66 ± 3,01  | 0,787415                       |
| Індекс клино-подібності, %<br>(усі дані)      | 54    | 81,5<br>[69,0; 93,0]    | 80,5 ± 2,18  | 41 | 75,0<br>[62,0; 90,0]    | 74,98 ± 3,15  | 0,155460                       |
| – грудний відділ,                             | 22    | 79,0<br>[67,0; 85,0]    | 76,55 ± 3,08 | 23 | 72,0<br>[59,0; 79,0]    | 69,00 ± 0,04  | 0,059404                       |
| – поперековий відділ,                         | 32    | 86,0<br>[69,5; 96,5]    | 83,22 ± 2,95 | 18 | 86,0<br>[72,0; 97,0]    | 82,61 ± 0,045 | 0,935539                       |
| * Висота $h_a$ , мм<br>(усі дані)             | 54    | 24,75<br>[19,00; 28,10] | 23,89 ± 0,78 | 41 | 20,60<br>[16,50; 25,90] | 20,69 ± 1,16  | 0,033767                       |
| – * $h_a$ (грудний відділ),                   | 22    | 21,30<br>[17,90; 24,10] | 21,00 ± 1,03 | 23 | 17,70<br>[15,30; 22,00] | 17,31 ± 1,19  | 0,030085                       |
| – $h_a$ (поперековий відділ),                 | 32    | 27,20<br>[20,75; 29,85] | 25,87 ± 0,98 | 18 | 26,10<br>[19,80; 30,70] | 25,01 ± 1,72  | 0,959696                       |
| * Висота $h_m$ , мм<br>(усі дані)             | 54    | 21,35<br>[17,90; 24,50] | 21,31 ± 0,61 | 41 | 17,90<br>[13,80; 21,40] | 17,84 ± 0,99  | 0,002063                       |
| – * $h_m$ (грудний відділ),                   | 22    | 18,50<br>[17,30; 21,60] | 18,97 ± 0,87 | 23 | 17,40<br>[13,30; 19,10] | 15,67 ± 0,99  | 0,035650                       |
| – $h_m$ (поперековий відділ),                 | 32    | 22,65<br>[20,35; 25,35] | 22,92 ± 0,71 | 18 | 20,80<br>[15,20; 25,20] | 20,62 ± 1,67  | 0,959696                       |

Продовження таблиці 1

| 1  | 2  | 3                        | 4             | 5  | 6                      | 7             | 8        |
|--|----|--------------------------|---------------|----|------------------------|---------------|----------|
| * Висота $h_p$ , мм<br>(усі дані)          | 54 | 30,50<br>[27,60; 32,30]  | 29,61 ± 0,51  | 41 | 27,70<br>[23,00;30,60] | 26,97 ± 0,81  | 0,007302 |
| – * $h_p$ (грудний відділ),                | 22 | 28,20<br>[24,60; 29,90]  | 27,33 ± 0,70  | 23 | 24,40<br>[21,80;28,00] | 24,77 ± 1,05  | 0,044426 |
| – $h_p$ (поперековий відділ),              | 32 | 31,50<br>[30,25; 33,35]  | 31,175 ± 0,58 | 18 | 30,00<br>[28,10;31,30] | 29,78 ± 0,93  | 0,101509 |
| Відносна компресія $H_a$ , %<br>(усі дані) | 54 | 14,13<br>[5,00; 27,83]   | 17,46 ± 2,34  | 28 | 20,64<br>[7,65;35,48]  | 26,18 ± 5,55  | 0,275572 |
| – $H_a$ (грудний відділ),                  | 22 | 6,96<br>[2,17; 23,75]    | 11,59 ± 3,69  | 20 | 20,64<br>[5,68;29,09]  | 22,38 ± 6,10  | 0,186093 |
| – $H_a$ (поперековий відділ),              | 32 | 15,54<br>[11,09; 33,05]  | 21,49 ± 2,85  | 8  | 23,98<br>[10,43;54,78] | 35,67 ± 12,09 | 0,576908 |
| Відносна компресія $H_m$ , %<br>(усі дані) | 54 | 30,00<br>[20,83; 41,32]  | 30,91 ± 1,96  | 28 | 35,38<br>[26,74;50,84] | 40,72 ± 4,52  | 0,105574 |
| – $H_m$ (грудний відділ),                  | 22 | 25,625<br>[18,85; 44,17] | 27,56 ± 3,48  | 20 | 34,32<br>[28,03;46,66] | 37,40 ± 5,04  | 0,137297 |
| – $H_m$ (поперековий відділ),              | 32 | 34,08<br>[25,07; 40,80]  | 33,21 ± 2,25  | 8  | 44,91<br>[25,72;63,16] | 49,03 ± 9,48  | 0,170852 |
| Відносна компресія $H_p$ , %<br>(усі дані) | 54 | 9,37<br>[4,78; 18,42]    | 11,75 ± 1,26  | 28 | 7,04<br>[3,27;17,28]   | 16,65 ± 4,86  | 0,567286 |
| – $H_p$ (грудний відділ),                  | 22 | 6,49<br>[2,11; 9,60]     | 7,05 ± 1,44   | 20 | 4,91<br>[2,35;13,86]   | 11,98 ± 4,94  | 0,969866 |
| – $H_p$ (поперековий відділ),              | 32 | 15,78<br>[7,12; 20,27]   | 14,99 ± 1,68  | 8  | 19,095<br>[7,22;35,15] | 28,30 ± 11,20 | 0,370213 |

Примітки: n — кількість спостережень (дані віку, переломів хребців стосовно решти показників); \* — статистично значущі розбіжності між групами залежно від наявності НКПХ.

Статистично значущі відмінності між групами спостерігалися лише для показників висоти хребців, яка була більшою у групі без НКПХ, та для кутів Кобба, якими оцінювалися сколіоз і поперековий лордоз. У пацієнтів із НКПХ зафіксовано значущо більші кути сколіозу та поперекового лордозу порівняно з тими, в яких НКПХ не було (табл. 1, рис. 1).

Під час побудови моделі прогнозування НКПХ розглядалися РМП після ПВП для 80 спостережень. Розроблення моделі прогнозування НКПХ здійснювалося за допомогою БДА. Оскільки в даних були наявні лише дві групи (є/ні НКПХ), то БДА зводився до отримання однієї дискримінантної функції (ДФ) та двох класифікаційних функцій (КФ).

Для аналізу вибиралися всі 12 показників після ПВП. Потім шляхом покрокового видалення (Backward stepwise) залишалися значущі для класифікації. У результаті лише два значення — висота хребця  $h_m$  та відносна компресія  $H_a$  — продемонстрували статистично значущий внесок у класифікацію груп із наявністю або відсутністю НКПХ. Решта показників були виключені з моделі через недостатню дискримінаційну здатність, яка може

обумовлюватися, наприклад, або відсутністю значущої варіабельності показника між групами, або високим рівнем кореляції з іншими змінними.

Під час оцінювання статистичної значущості одержаної ДФ за допомогою апроксимації розподілом  $\chi^2$  функції від  $\Lambda$ -статистики Уїлкса, було отримане значення  $p = 0,000376$  за  $\Lambda = 0,8$  та  $\chi^2 = 15,77$ , що свідчить про її значущість.

Про внесок кожного з двох показників у класифікацію можна судити за величиною коефіцієнтів факторної структури (табл. 2): найбільший —  $h_m$ , у якого канонічна кореляція між показником і ДФ дорівнює  $-0,863$ .

Для класифікації спостережень за групами (є/ні НКПХ після ПВП) отримано такі КФ:

$$F_{\text{немає}} = -23,22 + 1,83 \times h_m + 0,32 \times H_a, \quad (3)$$

$$F_{\text{є}} = -17,05 + 1,55 \times h_m + 0,28 \times H_a. \quad (4)$$

Відповідно до класичної схеми використання моделей БДА спостереження відносять до тієї групи, для якої отримано більше значення КФ, але у випадку лише двох класів, очевидно, доречнішим буде розглядати різницю між двома КФ.



Рис. 1. Діаграми розмаху деяких показників після ПВП (НКПХ)

Таблиця 2  
Коефіцієнти факторної структури  
для побудованої моделі дискримінантного аналізу  
прогнозування НКПХ

| Показник                     | Канонічна кореляція між показником та ДФ |
|------------------------------|--|
| Висота $h_m$ , мм            | -0,863                                   |
| Відносна компресія $H_a$ , % | 0,139                                    |

У нашому випадку:

$$\Delta F = F_c - F_{\text{немає}} = 6,17 - 0,28 \times h_m - 0,035 \times H_a. \quad (5)$$

Тоді, якщо  $\Delta F > 0$ , слід прогнозувати, що НКПХ відбудеться, якщо  $\Delta F < 0$ , то ні.

Результати апостеріорної класифікації (табл. 3) свідчать про досить непогану адекватність розробленої моделі, що також підтверджується відповідними оцінками площі під її ROC кривою:  $AUC = 0,754$  із 95 % ДІ від 0,640 до 0,867 (рис. 2).

Отримане за результатами ROC-аналізу оптимальне порогове значення для розробленої моделі дозволило підвищити загальну точність прогнозування з 73,75 до 76,25 % за рахунок збільшення

її специфічності (точності визначення відсутності НКПХ) до 75,9 % (95 % ДІ від 62,4 до 86,5 %), не змінивши при цьому достатньо високий показник чутливості, який залишився на рівні 76,9 із 95 % ДІ від 56,4 до 91,0 % (рис. 2). Отже, скоригована з урахуванням оптимального порогу відсікання формула для прогнозування НКПХ виглядає наступним чином:

$$\Delta F = 6,07 - 0,28 \times h_m - 0,035 \times H_a. \quad (6)$$

Як і раніше, відсутності НКПХ відповідає  $\Delta F < 0$ , його наявності —  $\Delta F > 0$ .

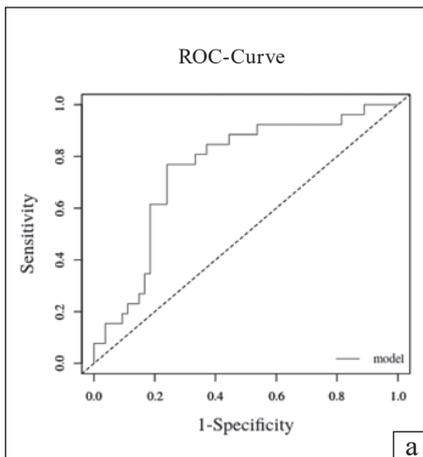
Через те, що в нашому дослідженні класифіковано лише дві групи за допомогою двох пояснюючих змінних, достатньо легко можна візуалізувати дискримінацію спостережень на двовимірній діаграмі розсіювання (рис. 3), де лінія відповідає дискримінантній функції.

Розроблений веб-застосунок «Калькулятор ризику перелому» успішно реалізує дискримінантну модель прогнозування НКПХ, використовуючи РМП  $h_m$  та  $H_a$  (рис. 4). Тестування додатка на вибірці з 80 спостережень показало, що він коректно

Таблиця 3

Матриця апостеріорної класифікації для розробленої моделі ДФ прогнозування НКПХ

| Досліджена вибірка  | Відсоток правильних (%) | Передбачено моделлю (n) |        |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|--------|
|                     |                         | НКПХ немає              | НКПХ є |
| НКПХ немає (n = 54) | 72,20                   | 39                      | 15     |
| НКПХ є (n = 26)     | 76,90                   | 6                       | 20     |
| Усього (n = 80)     | 73,75                   | 47                      | 33     |



| Table 1. Cut-off Results      |            |             |             |
|-------------------------------|------------|-------------|-------------|
| -----                         |            |             |             |
| Optimal cut-off method :      | MaxSpSe    |             |             |
| Optimal cut-off point :       | 0.09944667 |             |             |
| Optimal criterion :           | 0.7592593  |             |             |
| -----                         |            |             |             |
| Table 2. Performance Measures |            |             |             |
|                               | Value      | Lower Limit | Upper Limit |
| -----                         |            |             |             |
| Sensitivity :                 | 0.769      | 0.564       | 0.910       |
| Specificity :                 | 0.759      | 0.624       | 0.865       |
| Positive Predictive Value :   | 0.606      | 0.447       | 0.824       |
| Negative Predictive Value :   | 0.872      | 0.726       | 0.933       |
| Positive Likelihood Ratio :   | 3.195      | 1.903       | 5.366       |
| Negative Likelihood Ratio :   | 0.304      | 0.148       | 0.623       |
| -----                         |            |             |             |

| Marker | AUC       | SE.AUC     | LowerLimit | UpperLimit (*) | z        | p-value      |
|--------|-----------|------------|------------|----------------|----------|--------------|
| model2 | 0.7535613 | 0.05796304 | 0.6399558  | 0.8671667      | 4.374533 | 1.216927e-05 |
| Marker | AUC       | SE.AUC     | LowerLimit | UpperLimit (*) | z        | p-value      |

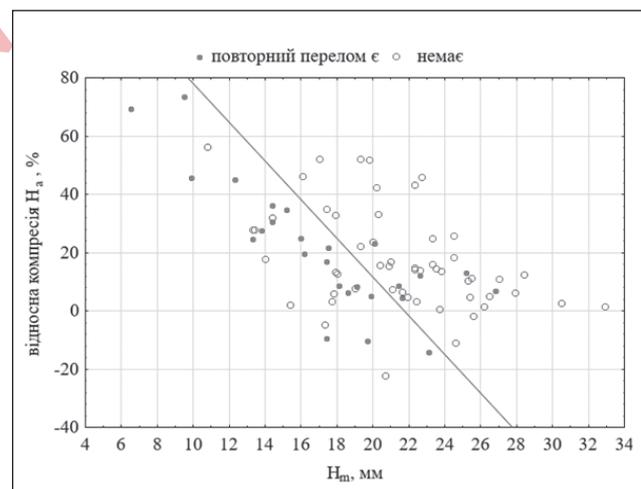
Рис. 2. Результати ROC-аналізу розробленої моделі ДФ для прогнозування НКПХ: (а) графік ROC-кривої; (б) результати визначення оптимального порогу відсікання; (в) оцінки площі під ROC-кривою

відтворює результати дискримінантного аналізу, забезпечуючи точність класифікації 76,25 %. Значення  $\Delta F > 0$  вказує на ризик НКПХ, тоді як  $\Delta F \leq 0$  свідчить про його відсутність.

### Обговорення

Це дослідження є першою спробою розробити прогностичну модель ризику НКПХ після ПВП в українській популяції на основі РМП. Отримані результати демонструють як потенціал, так і обмеження спрощеного двопараметричного підходу до прогнозування НКПХ.

У межах проведеного аналізу виявлено статистично значущі відмінності РМП хребців після ПВП між пацієнтами із розвитком НКПХ та без них. Водночас принципово важливо підкреслити, що морфометричні характеристики не є безпосередньою причиною виникнення нових компресійних переломів хребців, вони відображають системні властивості кісткової тканини та біомеханічного стану хребта, які визначають індивідуальний ризик нових компресійних переломів хребців. За своєю суттю ця концепція є анало-

Рис. 3. Діаграма розсіювання показників  $h_m$  і відносна компресія  $H_a$ 

гічною до використання показнику МЩКТ, який сам по собі не «спричиняє» переломи, але є надійним маркером ризику їх виникнення через відображення якості кісткової тканини.

Цю позицію підтверджують численні експериментальні та клінічні дослідження.

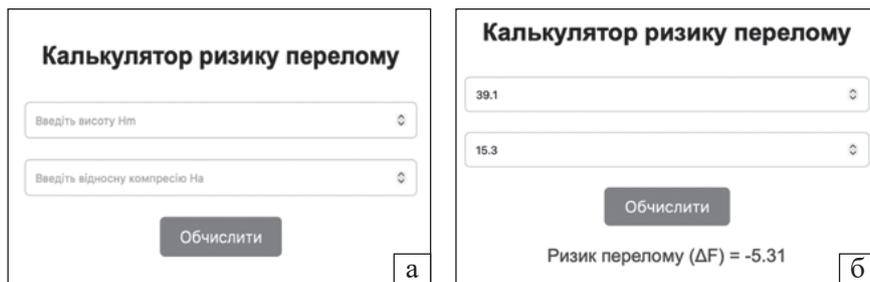


Рис. 4. Веб-застосунок «Калькулятор ризику перелому»: (а) інтерфейс; (б) результат роботи

Так, Н. К. Genant і співавт. продемонстрували наявність сильної негативної кореляції між ступенем компресії тіла хребця та МЩКТ ( $r = -0,68$ ;  $p < 0,001$ ) [5]. У свою чергу, S. Boutroy та співавт. на основі кількісної комп'ютерної томографії довели, що у пацієнтів із компресією понад 40 % об'ємна щільність трабекулярної кістки є на 35 % нижчою, а пористість кіркового шару — на 28 % вищою порівняно з хворими з компресією менше 25 % [12]. Отже виражена деформація тіл хребців є маркером більш тяжкого системного остеопору та гіршої якості кісткової тканини не лише в ураженому сегменті, але й усього хребта, що патофізіологічно обґрунтовує підвищену схильність таких пацієнтів до розвитку НКПХ.

Окрім системних чинників, важливу роль відіграють і локальні біомеханічні зміни після ПВП. Зокрема, J. Luo та співавт. у дослідженні з використанням методу скінченних елементів показали, що після ПВП хребців із компресією понад 33 % навантаження на суміжні сегменти зростає на 18–24 %, тоді як за компресії менше 25 % — лише на 8–12 % [13]. Клінічні спостереження узгоджуються з цими даними. R. Lindsay та співавт. виявили, що компресія понад 40 % асоціюється зі збільшенням ризику НКПХ на 92 % протягом одного року, тоді як за компресії менше 25–38 % на 45 % [14]. У довготривалому проспективному дослідженні J. A. Cauley та співавт. (15 років,  $n = 9\,704$ ) показали, що ступінь деформації тіл хребців є незалежним фактором ризику НКПХ ( $HR = 2,8$ ; 95 % ДІ: 1,9–4,2) [15].

Отримані в нашій роботі результати узгоджуються з наведеними даними та свідчать, що морфометричні параметри  $h_m$  та  $H_a$  можуть розглядатися як доступні маркери для виявлення ризику НКПХ після ПВП у клінічній практиці. Водночас слід зазначити, що частота НКПХ у нашій вибірці (46,2 %) суттєво перевищує показники, які наводяться в більшості сучасних публікацій. Метааналіз A. J. Láinez Ramos-Bossini та співавт., що включав 14 рандомізованих контрольованих досліджень ( $n = 1\,413$ ), не виявив статистично

значущого збільшення ризику НКПХ після вертебропластики порівняно з консервативним лікуванням ( $RR = 1,05$ ) [16]. Проте в дослідженні осіб після ПВП у когорті Optum продемонстровано частоту нових втручань на рівні 15,5 % протягом 24 міс. спостереження [4]. Виявлені розбіжності, імовірно, зумовлені особливостями відбору пацієнтів у нашій роботі, що підтверджується й попередніми даними: у когорті з 520 пацієнтів, яким виконували ПВП, частота НКПХ становила 12,31 % [17].

Останнє десятиліття характеризується інтенсивним розвитком прогностичних моделей для індивідуальної оцінки ризику НКПХ. Традиційні статистичні підходи наведені багатofакторними регресійними моделями та номограмами. Так, Q. Li та співавт. запропонували 12-параметричну номограму, що інтегрує клінічні, рентгенологічні та технічні змінні, з площею під ROC-кривою (AUC) 0,85 [18]. Y. Qian та співавт. розробили спрощену 8-параметричну модель із AUC = 0,83, проте навіть такі інструменти залишаються відносно складними для рутинного клінічного використання [19].

Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із впровадженням методів штучного інтелекту та машинного навчання. H. Wu та співавт. на вибірці з 863 пацієнтів показали, що метод опорних векторів забезпечує найвищу точність прогнозування НКПХ після ПВП серед порівнюваних алгоритмів [20]. S. Kim і співавт. застосували модель на основі Vision Transformer для аналізу МРТ-зображень, досягнувши статистично значущого покращення AUC порівняно з класичними нейронними мережами [21]. Y. Yeh та співавт. продемонстрували високу прогностичну цінність показника Vertebral Bone Quality Score (VBQ) як предиктора НКПХ (AUC = 0,74) [22].

Наша модель досягла точності на рівні 76,25 %, що відповідає помірній дискримінаційній здатності за критеріями J. A. Swets [23]. Хоча ці показники поступаються складним багатopараметричним і ШІ-орієнтованим моделям [20–22],

вони є порівнянними з результатами простіших статистичних підходів, поданих у літературі.

Ключовою перевагою запропонованої моделі є її практична застосовність. Використання лише двох змінних, які можуть бути виміряні за допомогою стандартної рентгенографії, робить цей інструмент потенційно придатним для широкого впровадження, особливо в умовах обмежених ресурсів системи охорони здоров'я України.

Статистична значущість параметрів  $H_a$  та  $h_m$  має чітке біомеханічне підґрунтя. Так, С. Zhou та співавт. у дослідженнях із використанням методу скінченних елементів показали, що хребці з початковою компресією переднього краю хребця понад 25 %, мають на 35–45 % вищі напруження у суміжних сегментах після введення кісткового цементу [24]. Середнє значення  $H_a$  у групі пацієнтів із НКПХ у нашому дослідженні (20,64) узгоджується з цими даними. Зменшення абсолютної висоти переднього краю тіла хребця ( $> 17,2$  мм) відображає не лише ступінь локальної компресії, але й загальну його архітектурну деградацію. У цьому контексті показово, що Y. Yeh та співавт. продемонстрували незалежну прогностичну цінність VBQ, який корелює з РМП, щодо ризику НКПХ [22].

Важливим є й те, що систематичний огляд S. R. Namireddy та співавт. показав: простіші статистичні моделі нерідко демонструють кращу узагальнювальну здатність порівняно зі складними алгоритмами штучного інтелекту за умов зовнішньої валідації [25]. Це підкреслює доцільність розробки простих, інтерпретованих і відтворюваних інструментів для рутинної клінічної практики.

Отож на сучасному етапі запропонована модель може розглядатися як перспективний допоміжний інструмент для первинного оцінювання ризику НКПХ після ПВП. Водночас вона потребує подальшого вдосконалення та зовнішньої валідації перед впровадженням у широку клінічну практику.

## Висновок

Розроблена модель прогнозування нових компресійних переломів хребців після пункційної вертебропластики є перспективною та заснована на РМП висоти  $h_m$  та відносної компресії  $H_a$  хребців після ПВП, демонструє помірну точність апостеріорної класифікації (76,25 %) та статистичну значущість ( $p = 0,000376$ ). Застосування моделі може сприяти ранній ідентифікації пацієнтів із висо-

ким ризиком НКПХ, дозволяючи оптимізувати стратегії профілактики.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень полягають у зовнішній валідації розробленої моделі в інших медичних закладах та на незалежних когортах пацієнтів, а також у її проспективній клінічній апробації. Подальша робота має бути спрямована на можливість вдосконалення моделі шляхом інтеграції додаткових клінічних і інструментальних показників.

Інформація про фінансування. Дослідження виконано в межах планової науково-дослідної роботи ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М. І. Ситенка НАМН України». Додаткового фінансування не отримувалось.

Внесок авторів. Попов А. І. — концепція дослідження, лікування пацієнтів, редагування статті; Молодк М. В. — збір даних, написання статті, лікування пацієнтів; Куценко В. О. — концепція дослідження, пошук літератури, написання статті; Златнік Р. В. — рентгенологічна діагностика, морфометричні вимірювання; Нессонова М. М. — статистичний аналіз, інтерпретація результатів, редагування статті.

## Список літератури

- Rho, Y., Choe, W. J., & Chun, Y. I. (2011). Risk factors predicting the new symptomatic vertebral compression fractures after percutaneous vertebroplasty or kyphoplasty. *European Spine Journal*, 21(5), 905–911. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2099-5>
- Sahota, A., Vass, C., Marshall, L., & Sahota, O. (2024). Fragility fracture and fear of falling in middle aged adults—a prevalence study. *Osteoporosis International*, 35(12), 2237–2238. <https://doi.org/10.1007/s00198-024-07166-6>
- Hernlund, E., Svedbom, A., Ivergård, M., Compston, J., Cooper, C., Stenmark, J., McCloskey, E. V., Jönsson, B., & Kanis, J. A. (2013). Osteoporosis in the European Union: Medical management, epidemiology and economic burden. *Archives of Osteoporosis*, 8(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11657-013-0136-1>
- Hirsch, J. A., Gilligan, C., Chandra, R. V., Brook, A., Gasquet, N. C., Ricker, C. N., & Wu, C. (2024). Real-world rates and risk factors for subsequent treatment with vertebroplasty or balloon kyphoplasty after initial vertebral augmentation: A retrospective cohort study. *Osteoporosis International*, 36(1), 129–140. <https://doi.org/10.1007/s00198-024-07294-z>
- Genant, H. K., Wu, C. Y., Van Kuijk, C., & Nevitt, M. C. (1993). Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *Journal of Bone and Mineral Research*, 8(9), 1137–1148. <https://doi.org/10.1002/jbmr.5650080915>
- Kuo, C. (2024). Commentary on “Deep learning-assisted quantitative measurement of thoracolumbar fracture features on lateral radiographs”. *Neurospine*, 21(1), 44–45. <https://doi.org/10.14245/ns.2448202.101>
- Thrall, J. H. (2024). Challenges of implementing artificial intelligence-enabled programs in the clinical practice of radiology. *Radiology: Artificial Intelligence*, 6(5). <https://doi.org/10.1148/ryai.240411>
- Yang, Y., Peng, J., Deng, K., Zhang, Z., Qiu, Q., & Zhang, X. (n. d.). Prediction of vertebral fracture risk in patients with osteopenia based on MRI texture analysis. *ISMRM Annual Meeting*. <https://doi.org/10.58530/2024/1553>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using multivariate statistics* (7<sup>th</sup> ed.). Pearson.
- Izenman, A. J. (2013). *Modern multivariate statistical techniques*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78189-1>

11. Popov, A., Moloduk, M., Kutsenko, V., & Nessonova, M. (2025). Risk factors for recurrent vertebral compression fractures after percutaneous vertebroplasty in osteoporotic patients: A systematic review and meta-analysis. *ORTHOPAEDICS TRAUMATOLOGY and PROSTHETICS*, (3), 91–102. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025391-102>
12. Boutroy, S., Buxsein, M. L., Munoz, F., & Delmas, P. D. (2005). In Vivo Assessment of Trabecular Bone Microarchitecture by High-Resolution Peripheral Quantitative Computed Tomography. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(12), 6508–6515. <https://doi.org/10.1210/jc.2005-1258>
13. Luo, J., Skrzypiec, D. M., Pollintine, P., Adams, M. A., Annesley-Williams, D. J., & Dolan, P. (2007). Mechanical efficacy of vertebroplasty: Influence of cement type, BMD, fracture severity, and disc degeneration. *Bone*, 40(4), 1110–1119. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.11.021>
14. Lindsay, R. (2001). Risk of New Vertebral Fracture in the Year Following a Fracture. *JAMA*, 285(3), 320. <https://doi.org/10.1001/jama.285.3.320>
15. Cauley, J. A., Hochberg, M. C., Lui, L.-Y., Palermo, L., Ensrud, K. E., Hillier, T. A., Nevitt, M. C., & Cummings, S. R. (2007). Long-term Risk of Incident Vertebral Fractures. *JAMA*, 298(23), 2761. <https://doi.org/10.1001/jama.298.23.2761>
16. Láinez Ramos-Bossini, A. J., Jiménez Gutiérrez, P. M., Moraleda Cabrera, B., Bueno Caravaca, L., González Díez, M., & Ruiz Santiago, F. (2024). Risk of new vertebral compression fractures and serious adverse effects after vertebroplasty: A systematic, critical review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 14(11), 7848–7861. <https://doi.org/10.21037/qims-24-396>
17. Popov, A., & Moloduk, M. (2024). Prediction of repeated osteoporotic fractures of the thoracic and lumbar vertebrae (experimental study). *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, (3), 5–12. <https://doi.org/10.15674/0030-5987202435-12>
18. Li, Q., Long, X., Wang, Y., Fang, X., Guo, D., Lv, J., Hu, X., & Cai, L. (2021). Development and validation of a nomogram for predicting the probability of new vertebral compression fractures after vertebral augmentation of osteoporotic vertebral compression fractures. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04845-x>
19. Qian, Y., Hu, X., Li, C., Zhao, J., Zhu, Y., Yu, Y., Xie, N., Ma, B., Zeng, Z., & Cheng, L. (2023). Development of a nomogram model for prediction of new adjacent vertebral compression fractures after vertebroplasty. *BMC Surgery*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12893-023-02068-6>
20. Wu, H., Li, C., Song, J., & Zhou, J. (2024). Developing predictive models for residual back pain after percutaneous vertebral augmentation treatment for osteoporotic thoracolumbar compression fractures based on machine learning technique. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-024-05271-0>
21. Kim, S., Kim, I., Yuh, W. T., Han, S., Kim, C., Ko, Y. S., Cho, W., & Park, S. B. (2024). Augmented prediction of vertebral collapse after osteoporotic vertebral compression fractures through parameter-efficient fine-tuning of biomedical Foundation models. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82902-w>
22. Yeh, Y., Chen, M., Hu, Y., Chiu, P., Kao, F., Hsieh, M., Yu, C., Tsai, T., Niu, C., Chen, L., Chen, W., & Lai, P. (2024). Vertebral bone quality score as a predictor of subsequent fractures after cement augmentation for Osteoporotic vertebral compression fracture. *Neurosurgery*, 96(6), 1410–1418. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000003282>
23. Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293. <https://doi.org/10.1126/science.3287615>
24. Zhou, C., Meng, X., Huang, S., Chen, H., Zhou, H., Liao, Y., Tang, Z., Zhang, X., Li, H., Sun, W., & Wang, Y. (2024). Biomechanical study of different bone cement distribution on osteoporotic vertebral compression Fracture-A finite element analysis. *Heliyon*, 10(5), e26726. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26726>
25. Namireddy, S. R., Gill, S. S., Peerbhai, A., Kamath, A. G., Ramsay, D. S., Ponniah, H. S., Salih, A., Jankovic, D., Kalasauskas, D., Neuhoff, J., Kramer, A., Russo, S., & Thavarajasingam, S. G. (2024). Artificial intelligence in risk prediction and diagnosis of vertebral fractures. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75628-2>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>21.10.2025 | Отримано після рецензування<br>28.11.2025 | Прийнято до друку<br>09.12.2025 |
|---|---|---------------------------------|

## RADIOGRAPHIC MORPHOMETRIC PREDICTION OF NEW VERTEBRAL COMPRESSION FRACTURES AFTER VERTEBROPLASTY

A. I. Popov <sup>1</sup>, M. V. Moloduk <sup>1</sup>, V. O. Kutsenko <sup>1</sup>, R. V. Zlatnik <sup>1</sup>, M. M. Nessonova <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>2</sup> Private higher educational institution «Kharkiv International Medical University». Ukraine

\* Andrii Popov, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: aipopovdoc@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9006-7721>

\* Mykyta Moloduk, MD: NikitaMoloduk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-0058-424X>

\* Volodymyr Kutsenko, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: kutsvlad1956@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7924-6553>

\* Ruslan Zlatnik, MD: ruslan.zlatnik@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-7621-9118>

\* Maryna Nessonova, PhD in Technology: m.nessonova@khimu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-7729-317X>

УДК 616.711-089.881-089-06(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026153-60>

## Рекомендації щодо попередження розвитку післяопераційних ускладнень транспедикулярної фіксації у пацієнтів з патологією хребта

С. Є. Бондаренко, О. О. Барков, В. О. Туляков

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

Innovations in spinal surgery have improved technical precision and perioperative efficiency, however, the issue of postoperative complications arising from the use of transpedicular screw fixation (TF) remains a concern. Objective. To develop an algorithmic protocol for reducing the likelihood of postoperative complications in patients undergoing transpedicular screw fixation. Methods. An analysis was conducted of the surgical outcomes of 2,760 patients with degenerative diseases, injuries and deformities of the spine, with radiographic assessment of transpedicular screw (TS) placement, both with and without the use of a 3D navigation system. The patients' laboratory parameters and the results of 62 intraoperative neurophysiological monitoring sessions were studied. Results. An algorithmic scheme was developed to prevent the development of TS complications and improve the quality of care for patients with spinal disorders: preoperative strategic comprehensive planning, intraoperative monitoring and techniques for precise TS placement, postoperative follow-up, prevention complications. An algorithm for action has been defined in cases of suspicion of an incorrectly placed screw or deterioration in neurological status. The core of the prediction and assessment of the likelihood of postoperative complications is an algorithmized scheme for laboratory examination of patients. Its suitability was verified during the surgical treatment of 30 patients. Conclusions. The algorithm-based protocol developed enables a structured assessment of the risk of complications, the planning of surgical treatment taking into account modern technologies, the monitoring of all critical points, the implementation of an individualized approach for each patient, and the integration of spinal navigation and neuromonitoring of the surgical process, which will minimize complications and have a positive impact on patients' condition, the length of their hospital stay, and the quality of treatment outcomes. Key words: spine, thoracic section, lumbar section, transpedicular fixation, complication, prevention, biochemistry, immunology.

Інновації в хірургії хребта підвищили технічну точність і періопераційну ефективність, проте проблема післяопераційних ускладнень через застосування транспедикулярної фіксації (ТФ) залишається актуальною. Мета. Розробити алгоритмізовану схему зниження вірогідності розвитку післяопераційних ускладнень у пацієнтів із використанням транспедикулярної фіксації. Методи. Проведено аналіз результатів операцій 2 760 пацієнтів із дегенеративними захворюваннями, травмами та деформаціями хребта з рентгенологічною оцінкою введення транспедикулярних гвинтів (ТГ), без та з допомогою 3D-навігаційної системи. Вивчено лабораторні показники пацієнтів і результати 62 інтраопераційних нейрофізіологічних моніторингів. Результати. Складено алгоритмізовану схему для попередження розвитку ускладнень ТФ і підвищення якості лікування хворих із захворюваннями хребта: передопераційне стратегічне комплексне планування, інтраопераційний контроль і техніка точного встановлення ТГ, післяопераційне спостереження та профілактика ускладнень. Визначено алгоритм дії за підозри на неправильно встановлений гвинт або погіршення неврологічного статусу. Ядром предикції й оцінки вірогідності розвитку післяопераційних ускладнень є алгоритмізована схема лабораторного обстеження пацієнтів. Її придатність перевірено під час хірургічного лікування 30 хворих. Висновки. Розроблена алгоритмізована схема дозволяє структуровано оцінити ризик ускладнень, запланувати хірургічне лікування з урахування сучасних технологій, проконтролювати усі критичні точки, здійснити індивідуальний підхід до кожного пацієнта й інтеграцію спінальної навігації, нейромоніторинг операційного процесу, що дозволить мінімізувати ускладнення та позитивно впливатиме на стан пацієнтів, тривалість їхнього перебування в стаціонарі, покращення якості результатів лікування.

Ключові слова. Хребет, грудний відділ, поперековий відділ, транспедикулярна фіксація, ускладнення, лабораторні показники

## Вступ

Спондилодез із застосуванням транспедикулярної фіксації (ТФ) позиціонується як найбільш часто виконувана в ортопедичній практиці операція, але яка може супроводжуватися ускладненнями, що вимагають повторного втручання [1, 2].

Вагоме місце серед причин неврологічних, судинних, вісцеральних ускладнень і ліквореї займає некоректне проведення транспедикулярних гвинтів (ТГ). Середні величини частоти некоректного проведення ТГ у різних дослідженнях варіюють від 0–2 % до 25–95 % у пацієнтів зі сколіотичною деформацією та близько 4,2 % випадків із дегенеративними захворюваннями хребта [1–3].

У хворих з ускладненнями здебільшого індекс маси тіла  $> 25 \text{ кг/м}^2$ , гірший початковий загальний стан здоров'я (за шкалою SF-36), порушення попереково-тазового балансу, що спричинювало довше перебування в лікарні, більшу кількість рівнів інструментації ТГ і, як наслідок, призводило до менш сприятливої післяопераційної фронтальної та сагітальної корекції [5]. Н. Е. Goheer і співавт. зазначили, що на кожну одиницю збільшення індексу маси тіла (ІМТ) пацієнта час проведення заднього поперекового спондилодезу подовжувався на 0,84 хв. Водночас, ймовірність ускладнень з боку операційної рани зросла на 19,7 % після заднього спондилодезу на одному рівні [6].

Наявність верхнього інструментованого хребця на вершині кіфозу, передопераційний сагітальний попереково-тазовий дисбаланс і остеопороз були визначені як важливі чинники ризику розвитку ускладнень у пацієнтів із дегенеративним поперековим сколіозом і супутнім грудноперековим кіфозом. Морфологічні характеристики хребта за цього захворювання необхідно враховувати під час планування хірургічного втручання для запобігання потрапляння верхнього інструментованого хребця в ділянку вершини кіфотичної деформації [4–6].

Останні інновації в хірургії хребта підвищили технічну точність і періопераційну ефективність, проте проблема ускладнень у разі оперативних втручання із ТФ залишається актуальною, що обумовило тематику нашого дослідження.

Уважаємо за доцільне проаналізувати наявний у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» матеріал стосовно проведених оперативних втручання із використанням транспедикулярних конструкцій, а також вивчити причини, які призводять до

ускладнень і небажаних результатів, здійснити систематизацію результатів клінічних і лабораторних досліджень.

Мета: розробити алгоритмізовану методику зниження вірогідності розвитку післяопераційних ускладнень у пацієнтів із використанням транспедикулярної фіксації хребта.

## Матеріал і методи

Дослідження проводились на базі клініки патології хребта ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Воно було схвалене локальним комітетом з біоетики цієї установи (протокол № 257 від 22.12.2025 р.) та проведене з дотриманням принципів належної клінічної практики (ICH GCP), Гельсінської декларації з прав людини та біомедицини (редакція 1977 р.), а також вимог чинного законодавства України. Усі пацієнти, залучені до дослідження, були належним чином проінформовані про мету, план і умови його проведення та надали письмову інформовану згоду на участь.

Ретроспективно та проспективно проаналізовано результати хірургічних втручання 2 760 осіб за період з 2004 по 2018 роки через дегенеративні захворювання, травматичні ушкодження і деформації грудного та поперекового відділів хребта, і яким було проведено ТФ хребців цієї локалізації. Ревізійні втручання виконано 268 пацієнтам. У 143 вивчено причини ускладнень через транспедикулярні конструкції (ТК) — унаслідок використання транспедикулярних гвинтів (ТГ) чи стрижнів та комбіновані. За допомогою рентгенологічного обстеження (фронтальне, сагітальне), комп'ютерної томографії (КТ), магнітно-резонансної томографії (МРТ) здійснено порівняння точності розташування ТГ у хребцях та проаналізовано кількість ревізійних хірургічних втручання, пов'язаних безпосередньо з некоректним розміщенням гвинтів між I групою пацієнтів із стандартною технікою установки гвинтів (техніка «вільних рук») (2 128 пацієнтів, 12 879 гвинтів), та II групою — використання 3D-навігаційної системи на підставі попередньо виконаної КТ (632 особи, 3 203 гвинтів). Зокрема проаналізовано 62 результати інтраопераційних нейрофізіологічних моніторингів (ІОНМ).

Водночас вивчено показники клініко-лабораторного, біохімічного й імунологічного обстеження крові цих пацієнтів до початку лікування та визначено їхню діагностичну чутливість. Серед них оцінювали: вміст гемоглобіну, загального білірубину (Б), загальних глікопротеї-

нів (ГП), гаптоглобіну (ГГ), С-реактивного білка (СРБ), активності лужної та кислої фосфатази (ЛФ та КФ), аланінамінотрансферази (АЛТ), аспаратамінотрансферази (АСТ), фіброногену (ФГ), (Д-димерів), розчинних фібрин-мономерних комплексів (РФМК), циркулюючих імунних комплексів (ЦІК), визначали активований частковий тромбіновий час (АЧТЧ), фібринолітичну активність (ФА), лейкоцитарну формулу, швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ), вміст і спонтанну міграцію лімфоцитів (LIF).

## Результати

Розроблена алгоритмізована методика (рис. 1) дозволила запровадити обґрунтований комплекс заходів для зменшення ризику після- та інтраопераційних ускладнень у пацієнтів, яким проводяться декомпресійно-стабілізувальні втручання на хребті.

Передопераційне стратегічне комплексне планування полягає у визначенні показників до проведення декомпресійно-стабілізуючого хірургічного втручання з використанням ТФ та уточнення чинників ризику для кожного конкретного хворого:

- клініко-діагностичне дослідження — анамнез (дегенеративні захворювання, травми, деформації хребта, пухлини, запалення, остеопороз, попередні втручання); лабораторне (біохімічне) обстеження хворого за алгоритмізованою схемою; оцінювання коморбідного статусу (цукровий діабет, ожиріння, захворювання серцево-судинної системи, гормональна терапія);

- інструментальна діагностика — рентгенографія хребта (фронтальна, сагітальна проєкції) для визначення структурності, величини деформації та її мобільності, ступіня зміщення, нестабільності хребців, висоти тіл хребців і міжхребцевих дисків; КТ-обстеження хребта (індивідуальна анатомія дужки хребців, їхньої довжини та діаметра), визначення інтраканальних та інших вроджених аномалій (діастоматомієлія, спондилоліз, порушення формування та цілісності хребців); МРТ-дослідження (вивчення стану нервових структур та їх компресії, міжхребцевих дисків, м'язів); денситометрія (виявлення остеопорозу для корекції тактики втручання);

- планування хірургічного лікування — вибір довжини фіксації хребців з урахуванням: стабільності сегментів, деформації та її величини, показників сагітального контуру хребта, типу захворювання (дегенеративні, травми, пухлини, деформації). Протяжна інструментація попере-

кового відділу хребта з необхідністю включення кріплення зони L<sub>v</sub>–S<sub>1</sub> потребує додаткової фіксації до клубових кісток; урахування мінеральної щільності кісткової тканини (МЩКТ); індивідуальний підбір безпосередньо конструкції: діаметр, довжина та тип ТГ (моно-, поліаксіальні, редуційні), жорсткість стрижнів та їх довжина.

Інтраопераційний контроль та технічна точність встановлення ТГ

На цьому етапі дуже важливе значення має:

- підготовка та візуалізація — розмітка рівня запланованого для операції з використанням інтраопераційної рентгенографії та спінальної навігації; перевірка плану втручання згідно з анатомією пацієнта; встановлення електродів і виконання ІОНМ, креслення базових ліній.

- вибір техніки встановлення ТГ: «вільних рук» (за допомогою визначених точок введення гвинтів за анатомічними орієнтирами) або під контролем 3D-навігаційної системи з дотриманням необхідних умов для уникнення помилок навігації (точна реєстрація точок, урахування відмінностей положення пацієнта під час виконання КТ-дослідження і на операційному столі; контроль положення хворого, його дихальних рухів, зміщення антени на остистому відростку після реєстрації; уникнення ушкоджень відбивального покриття кульок на антені або інструменті;

- робота на віддалених від місця реєстрації сегментах хребта потребує особливого контролю операційної рани для уникнення похибки відображення на моніторі;

- моніторинг ТГ (рентген-контроль, ІОНМ із використанням максимально можливої кількості м'язів);

- зниження ризику ускладнень (асептика/антисептика), контроль крововтрати, попередження ризику неврологічних ушкоджень (нагляд за роботою інструментів поблизу дуральної оболонки та спинномозкових нервів, під час проведення гвинтів і встановлення стрижнів, блокерів).

Післяопераційне спостереження, профілактика та реабілітація

На ранньому та пізньому післяопераційних етапах необхідне виконання контролю з використанням рентгеновських досліджень або КТ-обстеженням для визначення точності розташування ТГ у хребцях, а також формування спондилодезу, визначення стабільності транспедикулярної системи, суміжних сегментів, втрати досягнутої корекції деформації й неврологічного статусу, реабілітаційне лікування.

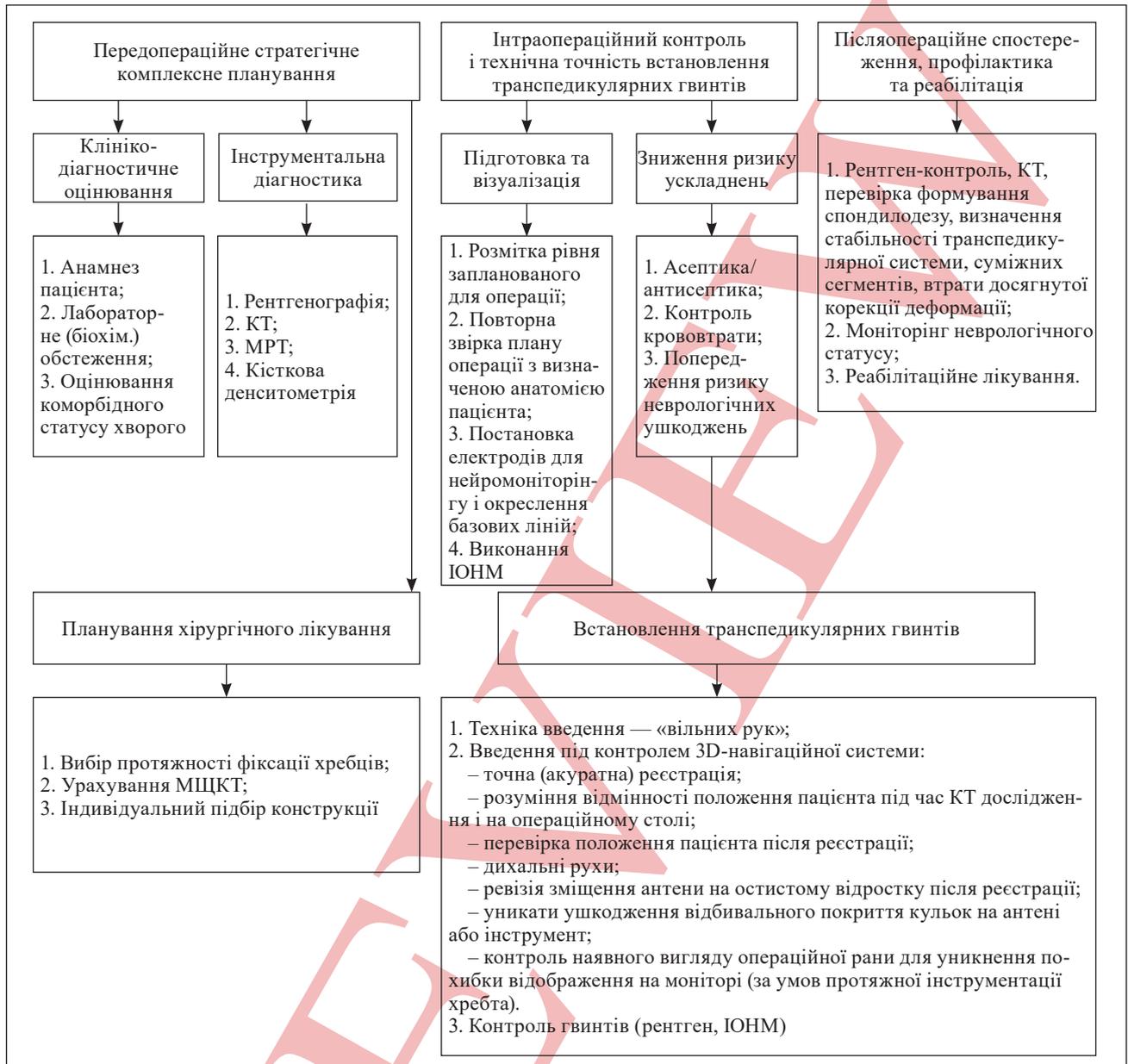


Рис. 1. Алгоритмізована методика для попередження розвитку післяопераційних ускладнень за умов транспедикулярної фіксації хребців

Загальна схема дій в разі підозри на неправильно встановлений гвинт або погіршення неврологічного статусу під час операції та після втручання наведена на рисунку 2.

Показами для повторного оперативного втручання є некоректне проведення гвинтів, яке призводить до значного болювого синдрому, неврологічного дефіциту, виявлення інфекційного процесу. Технічно це дуже складні операції з невизначеним і негарантованим результатом. Передопераційне, внутрішньоопераційне, а також післяопераційне спостереження таких пацієнтів важче, ніж хворих із первинними операціями.

У цих випадках першочерговим є передопераційне планування. Процес прийняття рішення повинен розв'язувати питання обсягу та виду повторної операції, необхідність і протяжність фіксації сегментів хребта, корекцію сагітального балансу, тип остеотомії хребта та її розташування.

За інтраопераційної підозри на некоректне позиціонування ТГ необхідно терміново виконати 2 рентгенограми у фронтальній та сагітальній проекціях, а також нейромоніторинг. За результатами потрібно вирішувати питання про повторне встановлення гвинта. Можливо водночас провести гвинт за кірковою траєкторією, якщо він був

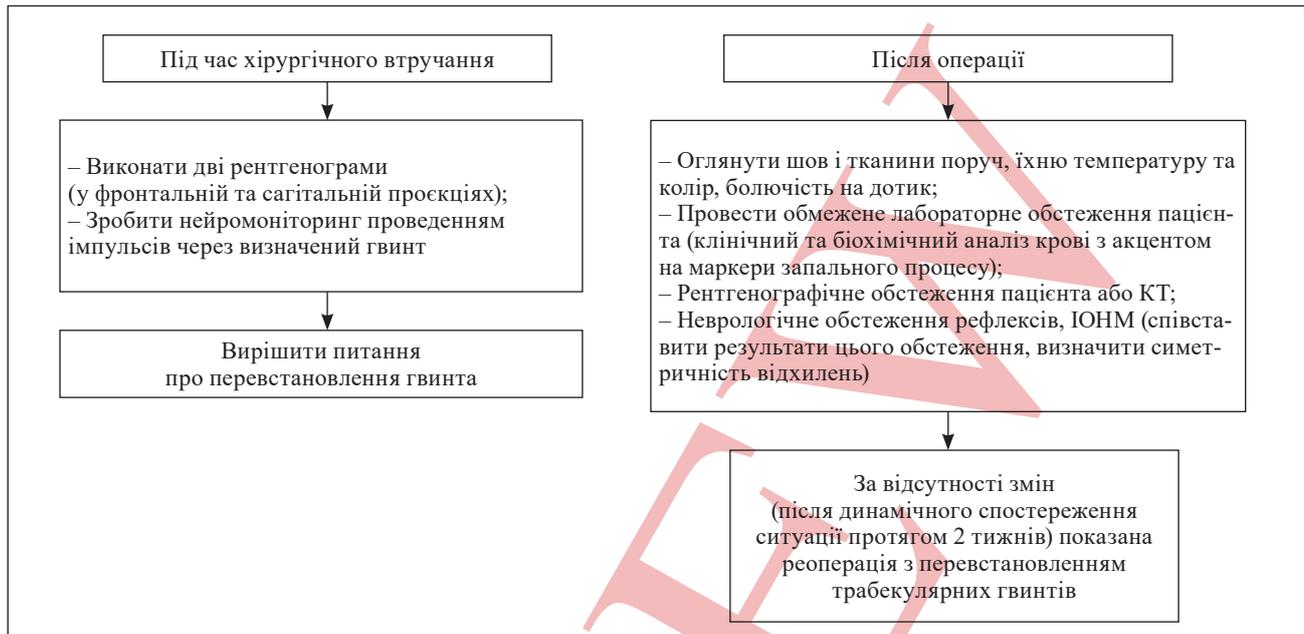


Рис. 2. Алгоритм дії за підозри на неправильно встановлений гвинт або зниження неврологічного статусу під час операції з ТФ хребта

встановлений за транспедикулярною траєкторією і навпаки.

У разі виникнення підозри на некоректне позиціонування ТГ після закінчення операції, дії лікаря залежать від терміну появи проблеми. Скарги пацієнтів на біль, зміни неврологічного статусу через онеміння в певному дерматомі, якщо це через кілька годин або дів після операції, можуть виникнути через можливий розвиток локального набряку тканин. При цьому необхідно оглянути шов та прилеглі тканини, оцінити їхню температуру та колір, болючість на дотик. Далі потрібно провести обмежене лабораторне обстеження пацієнта — клінічний і біохімічний аналіз крові з акцентом на маркери запального процесу — білки гострої фази, вміст ГП, СК. Паралельно виконати рентгенографічне обстеження або КТ, а також детальне неврологічне, здійснити ІОНМ.

Якщо протягом двох тижнів спостереження зміни статусу пацієнта відсутні, показана ревзія із перевстановленням ТГ. Показом для повторного оперативного втручання є і виявлення інфекційного процесу. При цьому можливе видалення всієї ТК.

Для ілюстрації ефективності алгоритмізованої методики обстеження хворих наводимо приклад.

#### Клінічний приклад

Пацієнтка 64 роки, діагноз: постменопаузальний остеопороз (рання хірургічна менопауза з 42 р.), множинні патологічні переломи тіл грудного та поперекового відділів хребта (рис. 3, а).

До хірургічного лікування, яке було виконане хворій 20.02.2020 р., здійснили клініко-діагностичне обстеження. Незважаючи на коморбідний статус, було проведено корекцію деформації хребта ТК на рівні  $Th_{X-S_1}$ , алокістковий спондилодез. Під час післяопераційного спостереження, за місяць зафіксовано нестабільність ТК та формування суміжної деформації хребта, що відзначено на контрольних рентгенограмах (рис. 3, б). Виявлено втрату досягнутої корекції деформації, що спричинило дестабілізацію транспедикулярної системи. Зазначені фактори призвели до ревізійного втручання з приводу коректного проведення ТГ, а саме — подовження інструментації хребта до хребця  $Th_{III}$  ТК на рівні  $Th_{III-S_1}$  (рис. 3, в).

#### Обговорення

У науковій літературі підкреслюється, що після виконання спондилодезу за рахунок ТФ, здебільшого виникають такі ускладнення — залишковий біль оперованого сегмента або невропатичний біль. Останнє є одним із можливих ускладнень після втручання на хребті із використанням ТФ і може призвести до суттєвого погіршення якості життя. Відомо, що неврологічні ускладнення через компресію нервів у поперековому відділі хребта за умов виконання декompресійно-стабілізувальних втручань не у всіх приводять до повного одужання [7]. Тривалий нейропатичний біль після спондилодезу зазвичай

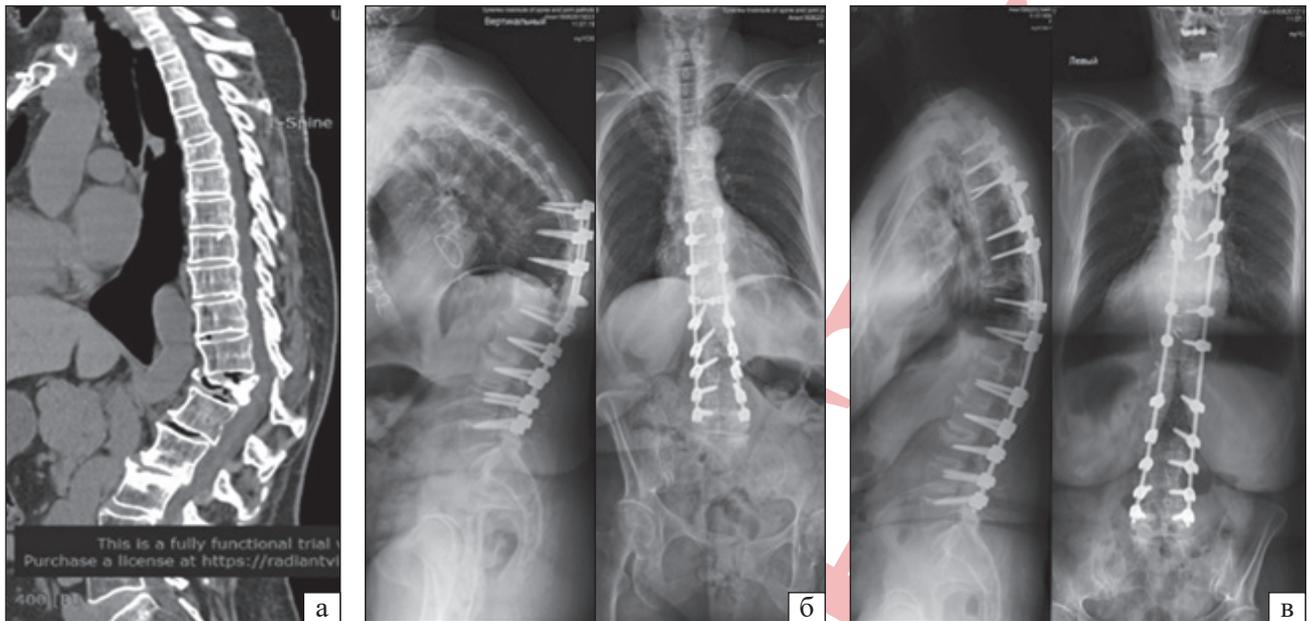


Рис. 3. Фотовідбитки рентгенограм а) до і б) після первинного хірургічного втручання. Через місяць в) ревізія ТК

не зникає після лікування, він залишається після втручання (спричинений порушенням анатомічних взаємовідносин у хребтотно-руховому сегменті) [8]. Як правило, біль виникає ще до операції та залишається й навіть посилюється після. За літературними джерелами такий розвиток больового синдрому спостерігається від 5 до 30 % пацієнтів [9]. У нашому дослідженні частота його виникнення складала 23,9 %.

Крутний момент затягування ТГ під час встановлення систем ТФ відіграє надважливу роль, зазначають S. Nakamura і співавт., акцентуючи увагу на тому, щоб момент під час закручування ТГ корелював із МЦКТ, віком та ІМТ. Це допоможе передбачити жорсткість фіксації та запобігти несправності інструментів під час хірургічного спондилодезу поперекового відділу хребта. Загалом він має знаходитися в межах — із меншого боку він обмежений мінімальними зусиллями, необхідними для виникнення потрібної сили тертя, із більшого він не повинен перевищувати поріг, за яким починається руйнування кісткової тканини [10–11].

Підсумовуючи, зазначимо, що ми можемо рекомендувати використання 3D-навігації під час встановлення ТГ, особливо в разі складних випадків протяжної інструментації щодо стабілізації сколіотичних деформацій. Це збігається із висновками дослідження A. R. Kothari та співавт., які розглядали результати встановлення 259 гвинтів у 21 пацієнта зі сколіозом і виявили, що навігація за допомогою О-дуги знизила частоту

ту медіальних і латеральних (тобто «критичних») порушень встановлення ТГ > 2 мм [12].

У разі відхилень лабораторних даних слід замислитися над можливістю інфікування — глибокого або поверхневого. S. Tummala та співавт. встановили, що за передопераційної колонізації метицилін-резистентним *Staphylococcus aureus* значно підвищується ризик смертності, ранових ускладнень, системних інфекцій, гематологічної захворюваності та гострого ураження нирок після планової операції на поперековому відділі хребта [13].

Створення заднього кістково-пластичного спондилодезу з використанням ТГ забезпечує стабілізацію ураженої ділянки, але водночас порушує нормальні біомеханічні взаємовідносини між хребтотно-руховими сегментами. Це може спричинити або прискорювати розвиток дегенеративних змін у прилеглих сегментах хребта. Патологічні перетворення в суміжних ділянках проявляються зниженням висоти дисків, формуванням гриж, розвитком сколіотичних деформацій, спондилолітезу або стенозу хребтотного каналу [14]. Рентгенологічні ознаки захворювання прилеглого сегмента можуть спостерігатися без клінічних симптомів від 12,2 до 42,6 % випадків, тоді як рентгенологічні зміни з клінічними проявами від 4 до 20 % [15].

Хірург має бути готовим до регулювання супутніх ускладнень (лікворея або масова втрата крові) та вирішити який вид ТГ необ-

хідно використати, щоб сприяти досягненню спондилолізу [16].

Слід зазначити, що за даними багатьох дослідників, зокрема E. Adindu та співавт., пацієнти з метаболічним синдромом стикалися з більш тривалою операцією, довшим перебуванням у лікарні та вищими показниками післяопераційних ускладнень (розриви твердої оболонки, інфекції та повторні втручання) [17].

Останні інновації в хірургії поперекового відділу хребта підвищили технічну точність і періопераційну ефективність без шкоди для пацієнтів [18, 19]. За результатами метааналізу G. Galieri та співавт. виявлено, що інтраопераційна навігація покращила точність інструментів, а доповнена реальність покращила ергономіку роботи [20].

Методологія 2D/3D-реєстрації з візуалізацією доповненої реальності ефективно усуває ключові обмеження поточних парадигм навігації, зберігаючи при цьому високі стандарти точності під час операції. Навігація в доповненій реальності з двота тривимірною реєстрацією є багатообіцяючим технологічним прогресом, який може підвищити точність і ефективність інструментальних процедур для хребта [21].

## Висновки

Розроблена алгоритмізована схема дозволяє структуровано оцінити ризик ускладнень, запланувати хірургічне лікування з урахуванням сучасних технологій і знань, а також здійснити контроль усіх критичних точок, індивідуальний підхід до кожного пацієнта, інтеграцію спінальної навігації та нейромоніторингу в операційний процес, що дозволить мінімізувати ускладнення під час проведення транспедикулярної фіксації в пацієнтів із захворюваннями хребта.

Практичне використання розроблених у цій роботі засобів для зменшення розвитку післяопераційних запальних ускладнень після імплантації транспедикулярної конструкції, зокрема із використанням реєстрації відхилень від норми величин передопераційних клініко-лабораторних і біохімічних показників, може допомогти уникнути розвитку ускладнень, що приведе до зменшення важкості стану пацієнтів, тривалості їх перебування в стаціонарі, а також, найбільш важливо — покращення якості результатів лікування.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Автори планують продовжити роботу у напрямку розробки та впровадження у практику ортопедії лікувальних та організаційних заходів по зниженню ускладнень транспедикулярної фіксації під

час лікування дегенеративних захворювань і деформацій грудного та поперекового відділів хребта. Зокрема, нинішня концептуальна праця потребує підтвердження у клінічних умовах.

Інформація про фінансування. Ця робота виконана в межах комплексних тем науково-дослідних робіт ДУ «ПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»: «Вивчити основні помилки та ускладнення транспедикулярної фіксації в хірургії хребта та розробити заходи їх профілактики та лікування» (прикладна), а також «Удосконалити методи хірургічного лікування хворих з дегенеративно-дистрофічними захворюваннями поперекового відділу хребта з використанням новітніх технологій». Конкретні медичні пристрої, або лікарські препарати не були залучені до нашого дослідження.

Внесок авторів. Бондаренко С. Є. — обґрунтував доцільність дослідження, розробив його концепцію; Барков О. О. — проаналізував джерела літератури та результати власних оперативних втручань; Туляков В. О. — виконав дослідження науково-медичної інформації та брав участь у розробці основних положень статті.

## Список літератури

1. Alshameeri, Z. A., Ahmed, E., & Jasani, V. (2020). Clinical outcome of spine surgery complicated by accidental dural tears: Meta-analysis of the literature. *Global spine journal*, 11(3), 400–409. <https://doi.org/10.1177/2192568220914876>
2. Alshameeri, Z. A., & Jasani, V. (2021). Risk factors for accidental dural tears in spinal surgery. *International journal of spine surgery*, 15(3), 536–548. <https://doi.org/10.14444/8082>
3. Sarathy, K., Dhawale, A., Rokade, S., Badve, S., Mandlecha, P., Aroojis, A., Mehta, R., Chaudhary, K., & Nene, A. (2021). Assessment of pedicle screw malposition in uniplanar versus multiplanar spinal deformities in children. *North American spine society journal (NASSJ)*, 5, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2021.100049>
4. Pellisé, F., Bayo, M. C., Ruiz de Villa, A., Núñez-Pereira, S., Haddad, S., Barcheni, M., Pizones, J., Valencia, M. R., Obeid, I., Alanay, A., Kleinstueck, F. S., & Mannion, A. F. (2024). The impact of unplanned Reoperation following adult spinal deformity surgery. *Journal of bone and joint surgery*, 106(8), 681–689. <https://doi.org/10.2106/jbjs.23.00242>
5. O'Toole, J. E., Sasso, R. C., Harrop, J. S., Mariscal, G., Chapput, C. D., Arnold, P. M., Witiw, C. D., Jacobs, W. B., & Steinmetz, M. P. (2025). Adverse impact of obesity on lumbar spine fusion, patient-reported outcomes and costs. *Spine*, 50(17), 1208–1218. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000005395>
6. Goheer, H. E., Botros, M., Leggett, A. R., Ramirez, G., Haddas, R., Molinari, R. W., & Puvanesarajah, V. (2025). The impact of obesity on spine surgery operative time: A quantitative analysis. *Global spine journal*, 16(2), 975–984. <https://doi.org/10.1177/21925682251369432>
7. Gao, S., Li, Z., Li, X., Rudd, S., Wang, H., Gao, Z., Ding, W., & Yang, S. (2023). The treatment effect of posterior lumbar fusion surgery on patients suffering from lumbar disc herniation concurrent with peroneal nerve paralysis. *Frontiers in surgery*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1063528>
8. Cristea, A., Heijnen, B. F., Park, S. W., Krutko, A., Santos, C., Senker, W., Arzoglou, V., & Pereira, P. (2025). Neuropathic pain appears to be the main symptom associated with higher disease burden and lower pain alleviation in degenerative lumbar disease fusion patients. *Brain and spine*, 5, 104224. <https://doi.org/10.1016/j.bas.2025.104224>
9. Cannizzaro, D., Anania, C. D., Safa, A., Zaed, I., Morengi, M., Riva, M., Tomei, M., Pessina, F., Servadei, F., Ortolina, A., & Fornari, M. (2023). Lumbar adjacent segment degeneration after spinal fusion surgery: A systematic review and me-

- ta-analysis. *Journal of neurosurgical sciences*, 67(6). <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.22.05891-x>
10. Nakamura, S., Takahashi, T., Inoue, T., Minami, M., Kanematsu, R., Suda, I., Takeuchi, S., Tokunaga, S., & Hanakita, J. (2025). Measurement of Intraoperative insertional torque: Usefulness for prediction of the deviation of pedicle screw insertion in lumbar degenerative diseases. *International journal of spine surgery*, 19(4), 452–458. <https://doi.org/10.14444/8785>
  11. Addevico, F., Morandi, M., Scaglione, M., & Solitro, G. F. (2020). Screw insertion torque as parameter to judge the fixation. Assessment of torque and pull-out strength in different bone densities and screw-pitches. *Clinical biomechanics*, 72, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.12.004>
  12. Kothari, A. R., Katkade, S. M., Bhilare, P. D., Aiyer, S., Situt, N. V., Hadgaonkar, S. R., Shyam, A., & Sancheti, P. K. (2023). “Critical pedicle wall” breaches analysis in complex spinal deformity using O-arm navigation. *Surgical neurology international*, 14, 306. [https://doi.org/10.25259/sni\\_437\\_2023](https://doi.org/10.25259/sni_437_2023)
  13. Tummala, S., Haslam, D., Gibbs, D., Alder, J., Chavarria, J., Avramis, I., & Rizkalla, J. (2025). Evaluating the risk of postoperative infection and complications in lumbar spine surgery patients with preoperative methicillin-resistant staphylococcus aureus (MRSA) colonization. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 145(1). <https://doi.org/10.1007/s00402-025-06036-y>
  14. Lopez, I. B., Benzakour, A., Mavrogenis, A., Benzakour, T., Ahmad, A., & Lemée, J. (2022). Robotics in spine surgery: Systematic review of literature. *International orthopaedics*, 47(2), 447–456. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05508-9>
  15. Arim, O., Alshalcy, A., Shakir, M., Agha, O., & Alhamdany, H. (2024). Transpedicular screw fixation in degenerative lumbosacral spine disease surgical outcome. *Georgian medical news*, 34, 117–121. [https://www.geomednews.com/Articles/2024/3\\_2024/117-121.pdf](https://www.geomednews.com/Articles/2024/3_2024/117-121.pdf)
  16. Khan, B., Mansoor Shah, S., Khan, A., Ali, H., Ullah, A., Ullah, I., Haqqani, U., & Uliqbal, R. (2024). Revision lumbar spine surgeries: An early career neurosurgery experience. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.57371>
  17. Adindu, E., Singh, D., Geck, M., Stokes, J., & Eeric Truumees. (2025). The impact of obesity on postoperative and perioperative outcomes in lumbar spine surgery: A systematic review and meta-analysis. *The spine journal*, 25(6), 1081–1095. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2024.12.006>
  18. Radchenko, V., Barkov, O., & Skidanov, A. (2019). Five years of experience in using of navigation system in spine surgery. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, 0(1), 5–13. <https://doi.org/10.15674/0030-5987201915-13>
  19. Barkov, O., & Karpinska, O. (2025). Analysis of revisional surgical interventions in the thoracic and lumbar spine after transpedicular fixation. *Trauma*, 26(3), 189–196. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.3.26.2025.1019>
  20. Galieri, G., Orlando, V., Altieri, R., Barbarisi, M., Olivi, A., Sabatino, G., & La Rocca, G. (2025). Current trends and future directions in lumbar spine surgery: A review of emerging techniques and evolving management paradigms. *Journal of clinical medicine*, 14(10), 3390. <https://doi.org/10.3390/jcm14103390>
  21. Castillo, J. A., Urreola, G., Kalistratova, V., Le, M., Harris, A. M., Shahzad, H., Massel, D. H., Shepard, N., Cook, C., Lim, R., Khan, S., & Price, R. L. (2025). Augmented reality-guided pedicle screw placement with 2D–3D registration: Proof-of-Concept using 151 cadaveric trajectories. *Global spine journal*. <https://doi.org/10.1177/21925682251387550>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>02.01.2026 | Отримано після рецензування<br>28.01.2026 | Прийнято до друку<br>02.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## RECOMMENDATIONS FOR PREVENTING POSTOPERATIVE COMPLICATIONS OF TRANSPEDICULAR SCREW FIXATION IN PATIENTS WITH SPINAL DISORDERS

S. Ye. Bondarenko, O. O. Barkov, V. O. Tuljakov

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

\* Stanislav Bondarenko, MD, DSci in Orthopaedics and Traumatology: [bondarenke@gmail.com](mailto:bondarenke@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2463-5919>

\* Oleksandr Barkov, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: [a.barkov.79@gmail.com](mailto:a.barkov.79@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-2161-416X>

\* Vladyslav Tuliakov, DSci in Pharmacy: [tulakov1967v@gmail.com](mailto:tulakov1967v@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3187-1592>

УДК 616.718.4-001.5-007.23-092.9-085:615.382](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026161-69>

## Стимуляція періостального кісткоутворення збагаченою тромбоцитами плазмою крові в моделі атрофічного незрощення перелому стегнової кістки щурів

П. М. Воронцов, В. Є. Мальцева, З. М. Данищук,  
О. А. Нікольченко, В. В. Ковтун, С. І. Лапонін

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

**Objective.** To investigate the effect of local injection of platelet-rich plasma (PRP) on periosteal bone formation in a rat model of femoral atrophic non-union. **Methods.** The study was conducted on 11 rats. Atrophic non-union was modelled by performing a mid-shaft femoral osteotomy with intramedullary Kirschner wire fixation, followed by periosteal stripping (2 mm) at both ends of the osteotomized bone and their separation with a silicone spacer. On day 7 post-surgery, 5 animals received a local PRP injection into the injury zone. Radiography was performed at weeks 2 and 4. After 8 weeks, euthanasia was performed, and the operated femurs were harvested for histological analysis. **Results.** In the atrophic non-union model, a loose connective tissue capsule of varying thickness without signs of inflammation was found around the spacer in all rats. Acellular areas were identified within the cortex. The structure of the periosteum and endosteum near the osteotomy site was disrupted. In 5 out of 6 animals, no signs of bone formation were observed near the spacer from either the periosteal or endosteal zones. Following PRP injection, a higher density of capillary-type vessels was observed within the capsule. Areas of cartilage with hypertrophic chondrocytes were identified, indicating endochondral ossification. In 4 rats, formed bone tissue was recorded on the fragments, predominantly on one side, in both periosteal and endosteal zones. The bone tissue was cancellous in the periosteal zone and woven bone in the endosteal zone. **Conclusion.** Local PRP injection into the injury zone on day 7 in a rat model of femoral atrophic non-union with previously disrupted periosteum positively affects periosteal bone formation at the fragment ends. **Keywords:** rat, atrophic non-union, femoral fracture, platelet-rich plasma (PRP), periosteal bone formation, histology, endochondral ossification.

**Мета.** Вивчити вплив локального введення збагаченої тромбоцитами плазми на періостальне кісткоутворення в моделі атрофічного незрощення перелому стегнової кістки щурів. **Методи.** Дослідження проведено з використанням 11 щурів, яким змодельовали стан атрофічного незрощення перелому шляхом виконання остеотомії в середній третині стегнової кістки з інтрамедулярною фіксацією спицею Кіршнера, руйнування періосту (2 мм) обох країв остеотомованої кістки та відокремлення їх силіконовим спейсером. На 7 добу 5 тваринам після втручання локально вводили PRP у зону ушкодження. Рентгенографію виконували на 2 та 4 тижень. Через 8 тижнів після операції здійснили евтаназію та вилучили оперовану стегнову кістку для гістологічного аналізу. **Результати.** У моделі атрофічного незрощення у всіх щурів навколо спейсера виявлено сполучнотканинну капсулу різної товщини без ознак запалення. У кортексі визначали безклітинні ділянки. Структура періосту й ендосту поблизу зони остеотомії — зруйнована. У 5 з 6 тварин не виявили жодних ознак кісткоутворення поблизу місця розміщення спейсера як з боку періосту, так і ендосту. У разі введення PRP у сполучнотканинній капсулі густіше розміщувалися судини капілярного типу. Визначено ділянки хрящової тканини з гіпертрофованими хондроцитами, що свідчить про процес енхондральної осифікації. У 4 щурів зафіксовано сформовану кісткову тканину на уламках, переважно на одному як у періостальній, так і в ендостальній зонах. Кісткова тканина — губчаста в періостальній зоні та грубоволокниста — в ендостальній. **Висновок.** Введення PRP в зону ушкодження на 7-му добу в моделі атрофічного незрощення перелому з попередньо зруйнованим періостом стегнової кістки щурів позитивно впливає на періостальне кісткоутворення на краях уламків.

**Ключові слова.** Щур, атрофічне незрощення, перелом стегнової кістки, збагачена тромбоцитами плазма (PRP), періостальне кісткоутворення, гістологія, енхондральна осифікація

## Вступ

Незрощення або уповільнене зрощення переломів довгих кісток є одним із серйозних ускладнень, яке призводить до втрати функціональності кінцівок пацієнтів та/або погіршує якість їхнього життя. Причинами, які це викликають вважають наявність дефектів кістки, остеомієліт, високоенергетичні травми, порушення механізмів регенерації кістки, системні захворювання такі як діабет та ін. [1], а також лікування перелому за допомогою металевого фіксатора [2]. Здебільшого виникають незрощення переломів плечової кістки (10–15 %), та стегнової або великогомілкової (до 12,5 %) [2]. В Україні внаслідок воєнних дій частота високоенергетичних травм, які супроводжуються переломами довгих кісток та їхніми дефектами [3, 4], суттєво зросла, через що в майбутньому слід очікувати збільшення відсотка незрощень серед постраждалих.

Головним завданням у разі лікування атрофічних незрощень переломів є досягнення стабільної фіксації, видалення рубцевих тканин, які перешкоджають зрощенню та заміщення утвореного дефекту кістковим ауто- або алотрансплантатом [5]. Крім того набуває розвитку використання під час хірургічного втручання різних посилювачів росту судин і диференціації клітин в остеогенному напрямі. До таких ортобіологічних методів відноситься використання збагаченої тромбоцитами плазми (PRP), аутологічних мезенхімальних стромальних клітин кісткового мозку (МСК), кісткових морфогенетичних білків (BMP) [1, 5] або їх комбінацій [6]. Метою використання цих методів є прискорення зрощення перелому, проте ефективність їхнього застосування все ще досліджується як клінічно, так і експериментально. Зокрема через відсутність клінічних досліджень I рівня доказовості [5].

Збагачена тромбоцитами плазма містить у собі тромбоцити, з яких вивільняється декілька факторів росту (тромбоцитарний (PDGF), трансформувальний (TGF- $\beta$ ) та інсуліноподібний (IGF-1), які позитивно впливають на васкуляризацію в зоні незрощення, а потім стимулюють диференціацію MSC у потрібному для загоєння перелому напрямі [7]. Періост відіграє ключову роль у репаративному остеогенезі через вміст остеогенних клітин-попередників і велику кількість судин у своїй структурі. Порушення його будови та біологічної активності розглядається як один із чинників формування атрофічних незрощень [8]. Фактори росту, які містяться у PRP, потенційно

здатні стимулювати клітинну активність періосту, ангиогенез та відновлення його остеогенного потенціалу, про що свідчать результати дослідження, де поєднують стовбурові клітини окістя та PRP для стимуляції регенерації кістки [10]. Проте невідомі точні механізми дії PRP у випадку незрощень переломів і нез'ясованим залишається питання терміну введення [9]. У недавньому системному огляді, де узагальнили результати 24 клінічних досліджень з оглядом на молекулярні та біологічні порушення в регенераті пацієнтів із незрощеннями, виявлено, що в цьому випадку спостерігається пригнічення експресії BMP-7 [11]. Цей білок належить до надродини TGF- $\beta$  та індукує диференціацію MSC в остеобласти [12]. Також до розвитку незрощення переломів ймовірно залучені сигнальні шляхи BMP і матриксні металопротейнази [11]. На тканинному рівні через асептичне атрофічне незрощення виникають порушення, механізми розвитку яких також майже не досліджені. Однією з основних відмінностей атрофічного незрощення від гіпертрофічного є загибель клітин у кортексі уламків у зоні незрощення [11]. Тому вплив на MSC, попередників остеобластів, для подальшого формування кісткової тканини та на появу моноцитів, попередників остеокластів, для резорбції материнської кіркової кістки в періостальній зоні може бути перспективним напрямом лікування незрощень. Він може потенційно забезпечити використання ортобіологічних методів, а саме PRP.

Мета: вивчити вплив локального введення збагаченої тромбоцитами плазми на періостальне кісткоутворення в моделі атрофічного незрощення перелому стегнової кістки щурів.

## Матеріал і методи

Експериментальні дослідження проведено з дотриманням вимог гуманного ставлення до піддослідних тварин, регламентованих Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006 р.) та Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, які використовуються для дослідних та інших наукових цілей (1986) [13, 14]. План експериментальних досліджень ухвалено комітетом із біоетики при ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (протокол № 224 від 13.06.2022 р.).

У роботі використано 11 самців білих щурів 6-місячного віку (маса тіла від 325 до 550 г) популяції експериментально-біологічної клініки ДУ «ІПХС ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України».

Усім тваринам змодельовано стан атрофічного незрощення перелому шляхом виконання остеотомії в середній третині стегнової кістки з інтрамедулярною фіксацією спицею Кіршнера, руйнування періосту (2 мм) обох країв остеотомованої кістки за допомогою електрокоагулятора та відокремлення їх силіконовим спейсером. Щурів розподілили на дві групи порівню: 1 — модель атрофічного незрощення перелому ( $n = 6$ ); 2 — модель із локальним введенням PRP у зону ушкодження на 7 добу після втручання ( $n = 5$ ).

Хірургічні втручання виконано в умовах асептики й антисептики під загальним знеболюванням (кетамін, 50 мг/кг живої маси, внутрішньом'язово). Після гоління правого стегна й оброблення ділянки антисептичним засобом Бетадин щурам через латеральний доступ виконали остеотомію середньої третини стегнової кістки за допомогою циркулярної фрези (рис. 1, а). Після цього проводили струминне промивання ділянки хірургічного втручання антисептичним засобом Декасан. Для руйнування періосту обох країв остеотомованої кістки виконували його коагуляцію на 2 мм дистальніше та проксимальніше зони остеотомії за допомогою височастотного генератора електрохірургічного уніполярного HF-1760 Model DTC-03 (рис. 1, б). Потім розводили уламки стегнової кістки, один кінець спиці Кіршнера вводили в кістково-мозковий канал дистального уламку, потім на спицю надягали силіконовий спейсер (діаметр 7 мм) через попередньо зроблений для цього отвір по центру. Далі, розтягуючи м'язи кінцівки, вводили інший кінець спиці в кістково-мозковий канал проксимально уламку і зближали обидві частини остеотомованої кістки зі силіконовим спейсером між ними (рис. 1, в, г).

Спиці Кіршнера були завдовжки від 17 до 22 мм з діаметром 1,5 та 2,0 мм, їх добір виконували під час втручання відповідно до індивідуального розміру та форми каналу кістки тварини (рис. 1, а). Рани обробляли антибіотиком Біцилін, пошарово зашивали м'язи та шкірну рану одинарними вузловими швами (шовний матеріал МЕФІЛ № 2). Шкіру в зоні хірургічного втручання обробляли антисептичним засобом Бетадин.

Через 7 діб після операції 6 щурам ін'єкційно ввели в зону ушкодження 0,3 мл PRP. Цей термін було обрано враховуючи стадійність процесу репаративного остеогенезу, згідно з якою перша — травматичне запалення (тривалість складає приблизно 7 діб) [15]. Через те, що введення PRP може посилювати запалення, ми обрали термін введення після завершення стадії запалення. Крім того, в попередньому дослідженні ми показали, що введення PRP на 7 добу після імплантації кісткового алоїмплантата в дефект критичного розміру стегнової кістки щурів сприяє перебудові імплантата зі заміщенням кісткової тканини в щурів старшого віку, у яких пригнічено кісткоутворення [16]. Для отримання PRP у двох тварин-донорів виконали забір 8 мл венозної крові у вакуумну пробірку на 8,5 мл із антикоагулянтном. Отримані зразки крові центрифугували 10 хв у лабораторній клінічній центрифугі ОПН-3.02 «ДАСТАН» за 1500 об/хв, після цього автоматичним піпет-дозатором зі стерильним накопичувачем відбирали плазму.

Через 4 тижні після хірургічного втручання всіх щурів виводили з експерименту шляхом декапітації під ефірним наркозом для гістологічного та біохімічного досліджень. Спосіб евтаназії обумовлений необхідністю отримання крові для біохімічного вивчення.

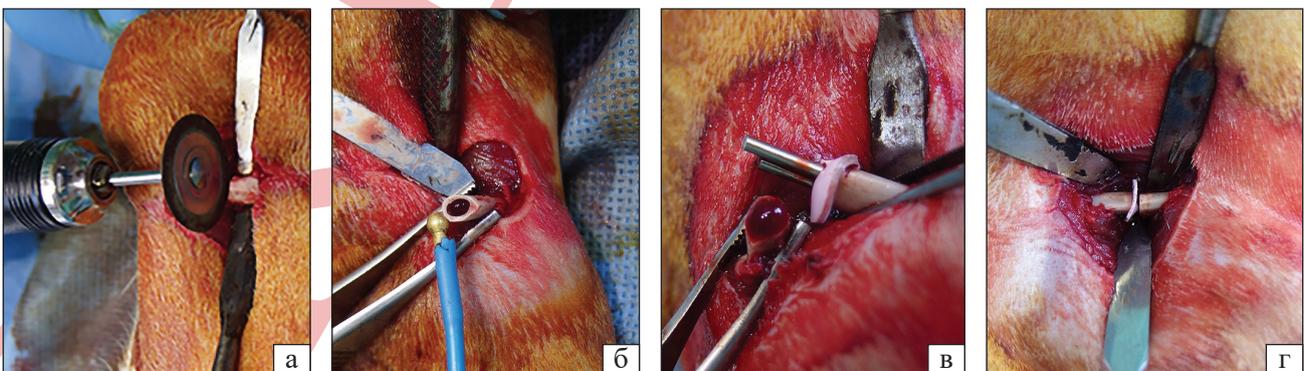


Рис. 1. Етапи проведення хірургічного втручання для моделювання атрофічного незрощення перелому стегнової кістки щурів: а) виконання остеотомії стегнової кістки за допомогою циркулярної фрези; б) руйнування періосту одного з уламків кістки за допомогою коагулятора; в) введення іншого кінця спиці Кіршнера з надітим силіконовим спейсером у проксимальний уламок кістки; г) зведені уламки зі спейсером між ними

Рентгенологічне обстеження проводили всім щурам через 2 та 4 тижні після втручання. Дослідження виконували під загальною анестезією (кетамін 50 мг/кг живої маси, в/м). Цифрові рентгенограми отримували з використанням рентгенологічної діагностичної системи OPERA T90сех.

Для гістологічного дослідження в тварин після декапітації виділяли прооперовані стегнові кістки, очищували від м'яких тканин і фіксували протягом 4-х діб у 10 % нейтральному формаліні. Після промивання проточною водою стегнові кістки декальцинували у 5 % розчині мурашиної кислоти 5 діб і переносили у 70° етиловий спирт. Із кісток видаляли спиці Кіршнера, вирізали фрагмент діяфіза з ділянкою остеотомії. Отримані зразки зневоднювали в ізопропіловому спирті зростаючої концентрації. Просочували в суміші ізопропілового спирту та парафіну, потім — серії парафінів, заливали в парафін. Поздовжні зрізи виготовляли на санному мікротомі Reichert, забарвлювали гематоксиліном і еозином. Аналіз структури клітин і міжклітинної речовини в ділянці остеотомії та навколо неї проводили за допомогою світлового мікроскопу Olympus VX63. Для фотографування використано цифрову камеру DP73 Olympus і програмне забезпечення «Cell Sens Dimension 1.8.1».

#### Статистичний аналіз

Для перевірки впливу PRP на періостальне кісткоутворення використовували дані кожного щура, які класифікували як «кісткоутворення наявне» або «кісткоутворення відсутнє», і результати порівнювали між групами зі застосуванням критерію  $\chi^2$  для категоріальних даних. Різницю між групами вважали значущою за умови, якщо  $p < 0,05$ . Для підрахунку використовували SPSS Statistic.

#### Результати

Рентгенографічний аналіз. Після моделювання атрофічного незрощення на рентгенограмах усіх щурів з/без введенням збагаченої тромбоцитами плазми на 7 добу положення інтрамедулярного фіксатора (спиці Кіршнера) через 2 тижні було коректним і забезпечувало відновлення осі правої кінцівки, кісткові уламки адаптовані; між ними визначали діастаз, де був розміщений рентгенологічно прозорий силіконовий спейсер (рис. 2, а, б). У щурів моделі незрощення перелому через 4 тижні не виявлено значущих змін порівняно з попереднім терміном спостереження (рис. 2, б), а у разі застосування збагаченої тромбоцитами плазми зафіксовано періостальний регенерат переважно в одному з уламків кістки (рис. 3, г).

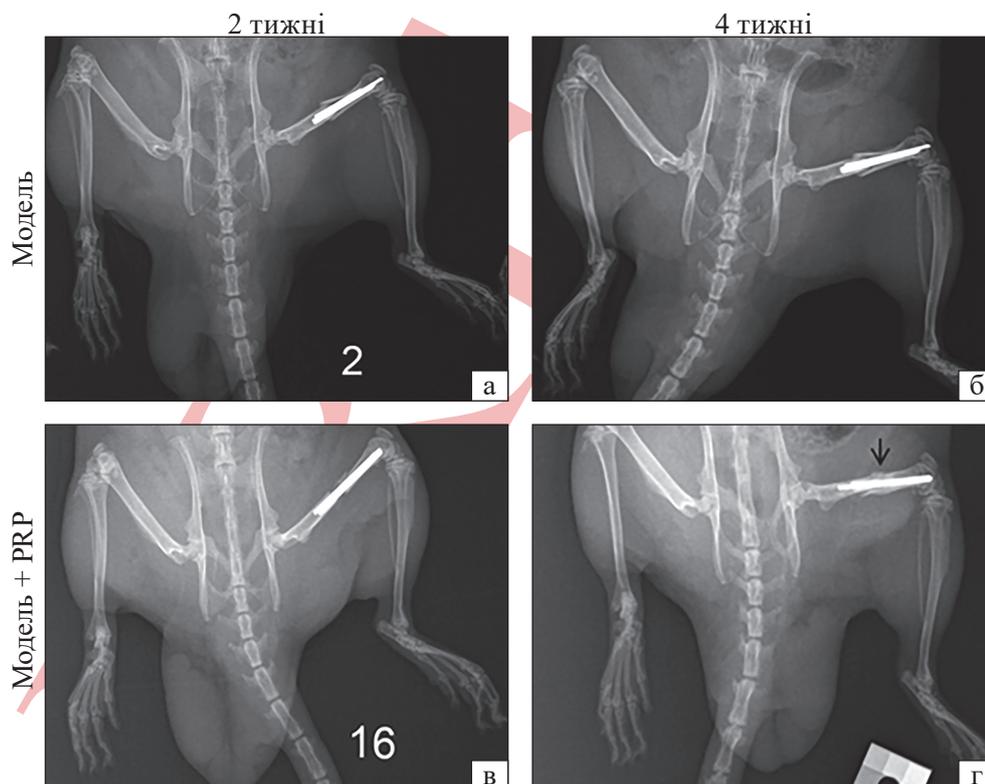


Рис. 2. Рентгенограми щурів з атрофічним незрощенням стегнової кістки з/без введенням PRP на 7 добу через 2 та 4 тижні після хірургічного втручання. Спиці Кіршнера розташовані в кістково-мозковому каналі через 2 тижні (а, в). Модель: Відсутність ознак формування регенерату в зоні остеотомії через 4 тижні (б). Модель+PRP: Періостальний регенерат у дистальному уламку кістки через 4 тижні (г)

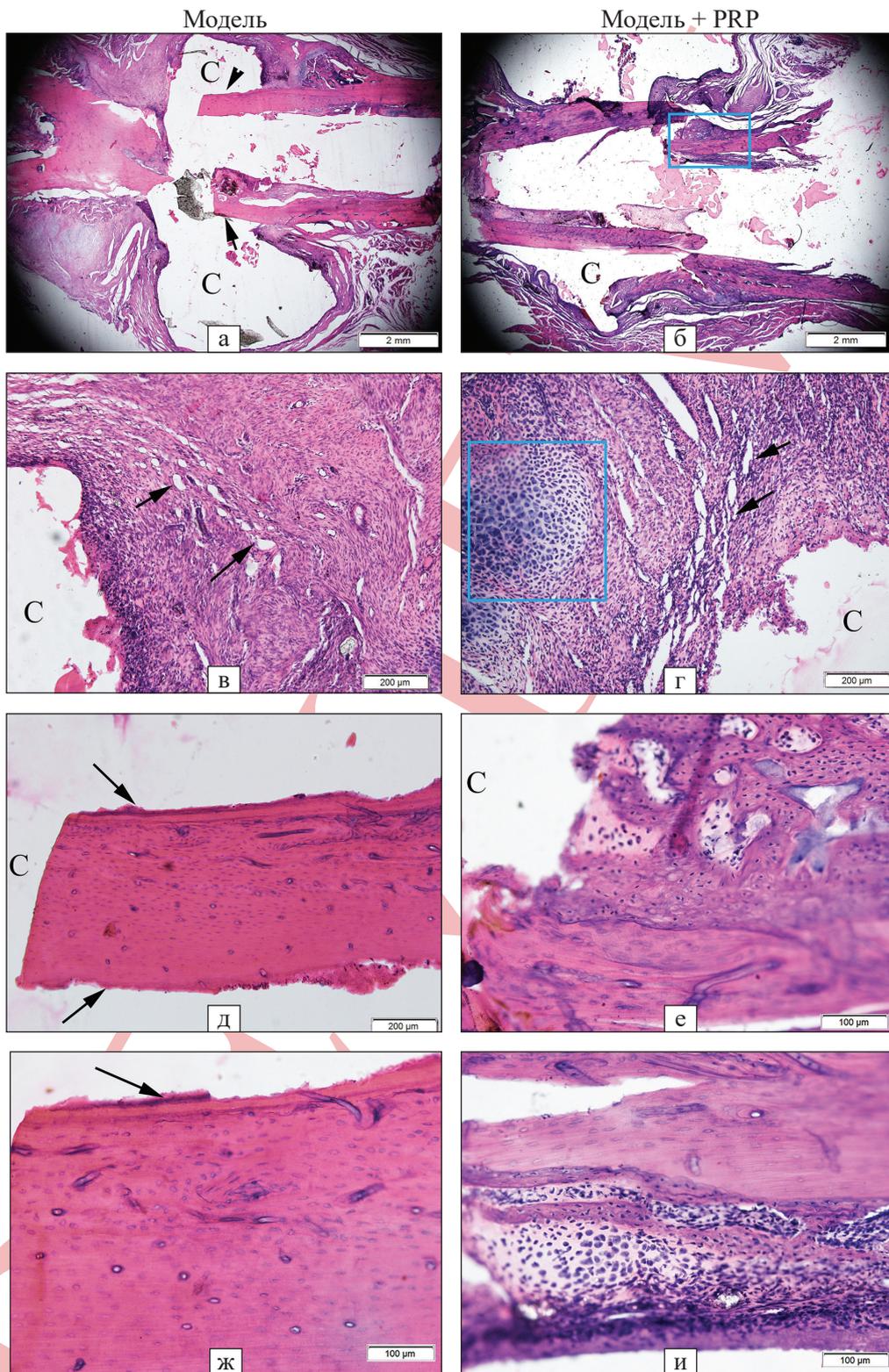


Рис. 3. Ділянки перелому через 4 тижні після остеотомії стегнової кістки шурів із інтрамедулярною фіксацією спицею Кіршнера, відокремленням остеотомованих фрагментів кістки силіконовим спейсером (С) та коагуляцією періосту з/без введенням PRP на 7 добу. Порожнина від спейсера оточена сполучнотканинною капсулою різної ширини (а, б). Модель незрощення (а, в, д, ж): Фрагменти сполучнотканинної капсули, яка оточувала силіконовий спейсер із судинами капілярного типу (стрілки) у товщі капсули (в). Кінці уламків остеотомованої стегнової кістки шурів зі зруйнованим періостом (д). Відсутність новоутворених тканин у періостальній й ендостальній зонах (стрілка) (д). Пусті лакуни без остеоцитів у кірковому матриксі (ж). Модель+PRP (б, г, е, и): Капсула з ознаками енхондральної осифікації (г). Періостальний та ендостальний регенерат на одному з уламків кістки (б). Новосформовані трабекули губчастої кісткової тканини в періостальній зоні (е). Грубоволокниста кісткова тканина в ендостальній зоні (и). Відсутність остеоцитів у лакунах у кістковому матриксі (е, и). Гематоксилін та еозин

Гістологічний аналіз. Модель атрофічного незрощення стегнової кістки. Через 4 тижні після виконання остеотомії на рівні середньої третини діафіза стегнової кістки, інтрамедулярної фіксації за допомогою спиці Кіршнера та встановленням між уламками кістки силіконового спейсера, мікроскопічно досліджувана ділянка складалася з зони, де був розміщений спейсер та уламків материнського кортексу стегнової кістки проксимально та дистально від неї (рис. 3, а). Спейсера не було на гістологічних зразках через розчинення силікону під час депарафінування гістологічних зрізів у ксилолі перед забарвленням. Навколо нього виявлено сполучнотканинну капсулу різної товщини у всіх щурів без ознак запалення (рис. 3, в). Вона була найширшою біля уламків кістки та її ширина зменшувалася з віддаленням від зовнішньої поверхні кістки. Сполучнотканинна капсула з'єднувалася з зовнішньою поверхнею уламків кістки трохи далі від їхніх країв. Вона складалася з паралельно спрямованих пучків колагенових волокон і щільно розміщених поміж них фіброblastів із базофільними ядрами (рис. 3, в). У періості, де капсула була ширшою, у ній подекуди визначали ділянки васкуляризації з судинами капілярного типу різного діаметра (рис. 3, в).

У кірковому матриксі поблизу зони остеотомії визначали безклітинні ділянки без остеоцитів, із переважанням пустих лакун або з детритом у них, зустрічалися ділянки нерівномірно еозинофільно забарвленого матриксу (рис. 3, д, ж). Структури періосту й ендосту поблизу зони остеотомії, де виконували коагуляцію під час хірургічного втручання, не виявляли (рис. 3, д). У одного щура зафіксовано утворення кісткової тканини на кінцях уламків з одного боку, у інших 5 з 6 (83 %) не було ознак кісткоутворення поблизу місця розміщення спейсера як у періості, так і ендості.

Поза зоною ушкодження періосту (> 2 мм від ділянки остеотомії) виявлено новоутворену губчасту кісткову тканину переважно у періості, а у деяких щурів також в ендості, яка складалася з дрібнопетлястих кісткових трабекул та остеоцитів у матриксі. На поверхні кісткових трабекул визначали остеобласти кубоподібної форми з базофільними ядрами. У періості й ендості, там де у кірковому матриксі були відсутні живі остеоцити, зафіксовано остеокласти.

У щурів із моделлю атрофічного незрощення перелому, яким зробили ін'єкцію PRP, через 4 тижні, аналогічно як і у тварин без ін'єкції PRP, виявляли зону остеотомії із двома уламками та

порожнину від спейсера оточену сполучнотканинною капсулою (рис. 3, б). У 80 % (4 із 5) особин зафіксовано сформовану кісткову тканину на уламках, переважно на одному (рис. 3, б) — як у періості, так і в ендості. Виявлено значущість цих змін порівняно з моделлю ( $\chi^2(2, n = 11) = 4,41, p = 0,036$ ). Кісткова тканина була губчастою в періостальній зоні та грубоволокнистою — в ендостальній (рис. 3, е, и). У двох тварин формування кісткового регенерату було інтенсивнішим, ніж в інших з повною перебудовою одного уламка. Так само як і у моделі, кірковий матрикс кінців уламків містив порожні лакуни без остеоцитів, у кожного щура виявлено ділянки на кінцях уламків без новоутворених тканин. Сполучнотканинна капсула мала схожу структуру, як у моделі (рис. 3, г), проте у тварин із виразнішим формуванням тканин у ній густіше розміщувалися судини капілярного типу, а поряд знайдено ділянки хрящової тканини з гіпертрофованими хондроцитами, що свідчить про процес енхондральної осифікації.

#### Обговорення

У результаті виконання поперечної остеотомії на рівні середньої третини діафіза стегнової кістки щура, фіксацією інтрамедулярно спицею Кіршнера, з коагуляцією періосту та встановленням силіконового спейсера, отримано атрофічне незрощення перелому через 4 тижні після виконання хірургічного втручання. Водночас це лише локальне порушення, тобто зберігається нормальне функціонування періосту на відстані 2 мм від зони ушкодження, що підтверджено наявністю сформованого періостального регенерату з губчастою кістковою тканиною. Гістологічні характеристики ділянки ушкодження відповідають таким у разі атрофічного незрощення перелому [11]: фіброзна капсула навколо спейсера, відсутність періостального й ендостального регенерату, загибель остеоцитів у кірковому матриксі уламків, відсутність остеокластів через пригнічення васкуляризації. Рентгенографічно також визначено відсутність ознак регенеративного процесу в зоні ушкодження.

У схожих моделях атрофічного незрощення переломів у невеликих тварин [17–23], як і в нашій, виконували руйнування періосту, проте водночас із ендостом [24], кістковим мозком [25, 26] для підвищення відтворюваності. Є ще одна модель схожа на нашу, де автори використали латексно-силіконову фольгу [27] для ізоляції уламків, проте наша передбачає простіший спосіб ізоляції уламків одне від одного шляхом використання

силіконового спейсера, який надягається на спицю Кіршнера. Також опубліковано результати використання силіконового вкладиша [28, 29] або полісульфонової пластини [30], проте без коагуляції періосту.

Наш методологічний підхід у створеній моделі забезпечив утворення атрофічного незрощення у 5 з 6 щурів. Гірші результати в однієї тварини ймовірно обумовлені недостатньою коагуляцією періосту, через що на кінцях уламків утворилася нова кісткова тканина. Ураховуючи це можна передбачати успішність запропонованої моделі для вивчення способів лікування атрофічних незрощень переломів.

Клінічна ефективність PRP недостатньо доведена, про що свідчить аналіз 2 системних оглядів [9, 31]. Це обумовлено неоднорідністю існуючих клінічних даних, а також розумінням механізмів впливу PRP у ділянці незрощення. Загалом PRP використовують як у поєднанні з кістковими трансплантатами або МСК, так і у вигляді черезшкірних локальних ін'єкцій у ділянку незрощення перелому. У більшості досліджень застосування PRP мало позитивний ефект на загоєння перелому, лише у 2 його не виявили, а в одному отримали гірший результат під час порівняння з рекомбінантним BMP-7 [9, 31]. Використання PRP під час втручання сприяло швидшому зрощенню перелому та зниженню болю за візуальною аналоговою шкалою у групі з PRP (n = 16) порівняно з групою без у пацієнтів із незрощенням переломів діафізи великогомілкової кістки [15]. У разі одноразового черезшкірного введення PRP (n = 14) у ділянку оліготрофного незрощення у хворих з діафізарними переломами довгих кісток це пришвидшило  $\approx$  на 3 тижні досягнення зрощення (19,07 проти 16,7 тижнів), що на 13 % більше порівняно з використанням інтрамедулярної фіксації з кістковим трансплантатом (n = 15) [17]. У нашому дослідженні ми передбачаємо, що такий вплив PRP може бути обумовлений зокрема позитивним впливом на відновлення періостального кісткоутворення й експериментально перевірили це.

Введення PRP на 7 добу в моделі атрофічного незрощення перелому стегнової кістки в щурів позитивно вплинуло на перебіг регенеративного процесу, що проявлялося у формуванні кісткового регенерату в періостальній й ендостальній зонах країв уламків кістки, де попередньо провели руйнування періосту. Проте такий процес мав неоднорідний характер ймовірно пов'язаний із точністю введення PRP в зону ушкодження.

У схожому дослідженні впливу PRP у моделі незрощення в кролів, у якому між уламками великогомілкової кістки вставляли спейсер на 3 тижні, а після його видалення заповнювали порожнину штучним кістковим імплантатом (Coragraft) з або без PRP, виявлено що таке поєднання забезпечує швидше зрощення кістки (рентгенологічно та гістологічно) на 3, 7 та 11-й тижень, ніж із використанням лише Coragraft [32]. Водночас застосування лише PRP без Coragraft не мало схожих показників. Проте невідомо про результати використання PRP у такій моделі незрощення за умов коагуляції періосту та під час гострої фази перелому, що було досягнуто під час нашого дослідження.

Отримані нами результати узгоджуються з іншими експериментальними дослідженнями, у яких використовували PRP. Так у разі її введення під час утворення перелому великогомілкової кістки кролів кірковий регенерат більш зрілий на 6 та 12-й тижні [33, 34]. А у щурів із діабетом I типу виявлено посилення диференціації клітин у періості під час зрощення перелому стегнової кістки за умов ін'єкційного введення PRP вже з 12-ї доби експерименту, що може вказувати на вплив PRP на функціонування періосту або на клітини прилеглих тканин за умов системних порушень в організмі [35].

## Висновки

Поперечна остеотомія стегнової кістки щурів з коагуляцією періосту на 2 мм від країв уламків, встановленням між ними силіконового спейсера й інтрамедулярною фіксацією спицями Кіршнера через 4 тижні забезпечує утворення атрофічного незрощення перелому у 83 % випадків.

Введення PRP у зону ушкодження на 7 добу в цій моделі позитивно впливає на періостальне кісткоутворення на краях уламків з попередньо зруйнованим періостом, проте переважно лише в одному з уламків. Це обумовлює необхідність розробки точнішого методу виконання ін'єкції PRP у зону ушкодження.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Проведення експериментальних досліджень щодо комбінованого застосування кісткових морфогенетичних білків із насиченою тромбоцитами плазмою для стимуляції періостального кісткоутворення в моделі незрощення перелому кістки.

Інформація про фінансування. Дослідження виконано в межах науково-дослідної роботи «Дослідити можливості біотехнологій для корекції порушень репаративного остеогенезу в разі незрощень і несправжніх суглобів» № держреєстрації 0123U100134.

Внесок авторів. Воронцов П. М. — концепція та дизайн дослідження, редагування фінального варіанта статті; Мальцева В. Є. — гістологічний аналіз, написання чернетки та редагування фінальної версії статті; Данишчук З. М. — гістологічний аналіз; Нікольченко О. А. — дизайн дослідження, експериментальне моделювання у щурів; Ковтун В. В. — експериментальне моделювання у щурів; Лапонін С. І. — експериментальне моделювання у щурів. Усі автори ознайомилися з фінальною версією статті та затвердили її.

## Список літератури

- Impieri, L., Pezzi, A., Hadad, H., Peretti, G. M., Mangiavini, L., & Rossi, N. (2024). Orthobiologics in delayed union and non-union of adult long bones fractures: A systematic review. In *bone reports*, 21, 101760. <https://doi.org/10.1016/j.bonr.2024.101760>
- Garnavos, C. (2017). Treatment of aseptic non-union after intramedullary nailing without removal of the nail. *Injury*, 48, S76–S81. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.04.022>
- Jarrassier, A., Py, N., de Rocquigny, G., Raux, M., Lasocki, S., Dubost, C., Bordier, E., Libert, N., Leclerc, T., Meaudre, É., & Pasquier, P. (2024). Lessons learned from the war in Ukraine for the anesthesiologist and intensivist: A scoping review. *Anaesthesia critical care & pain medicine*, 43(5), 101409. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2024.101409>
- Lurin, I., Burianov, O., Yarmolyuk, Y., Klapchuk, Y., Derkach, S., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2024). Management of severe defects of humerus in combat patients injured in Russo-Ukrainian war. *Injury*, 55(2), 111280. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111280>
- Gagnon, D., Mouallem, M., Leduc, S., Rouleau, D. M., & Chapleau, J. (2024). A systematic scoping review of the latest data on orthobiologics in the surgical treatment of non-union. *Orthopaedics and traumatology: surgery and research*, 110(6), 103896. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2024.103896>
- Lana, J. F. S. D., da Fonseca, L. F., Macedo, R. D. R., Mosaner, T., Murrell, W., Kumar, A., Purita, J., & de Andrade, M. A. P. (2021). Platelet-rich plasma vs bone marrow aspirate concentrate: An overview of mechanisms of action and orthobiologic synergistic effects. *World journal of stem cells*, 13(2), 155–167. <https://doi.org/10.4252/wjsc.v13.i2.155>
- Bacevich, B. M., Smith, R. D. J., Reihl, A. M., Mazzocca, A. D., & Hutchinson, I. D. (2024). Advances with Platelet-Rich Plasma for Bone Healing. *Biologics: targets and therapy*, 18, 29–59. <https://doi.org/10.2147/BTT.S290341>
- Wang, L., Tower, R. J., Chandra, A., Yao, L., Tong, W., Xiong, Z., Tang, K., Zhang, Y., Liu, X. S., Boerckel, J. D., Guo, X., Ahn, J., & Qin, L. (2019). Periosteal Mesenchymal Progenitor Dysfunction and Extraskelentially-Derived Fibrosis Contribute to Atrophic Fracture Nonunion. *Journal of bone and mineral research*, 34(3), 520–532. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3626>
- Jamal, M. S., Hurley, E. T., Asad, H., Asad, A., & Taneja, T. (2022). The role of Platelet Rich Plasma and other orthobiologics in bone healing and fracture management: A systematic review. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 25, 101759. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.101759>
- Dai, H., Zhang, H., Qiu, Z., & Shi, Q. (2023). Periosteum-derived skeletal stem cells encapsulated in platelet-rich plasma enhance the repair of bone defect. *Tissue and cell*, 83, 102144. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2023.102144>
- Panteli, M., Vun, J. S. H., Pountos, I., J. Howard, A., Jones, E., & Giannoudis, P. V. (2022). Biological and molecular profile of fracture non-union tissue: A systematic review and an update on current insights. *Journal of cellular and molecular medicine*, 26(3), 601–623. <https://doi.org/10.1111/jcmm.17096>
- Narasimhulu, C. A., & Singla, D. K. (2020). The role of bone morphogenetic protein 7 (BMP-7) in inflammation in heart diseases. *Cells*, 9 (2), 280. <https://doi.org/10.3390/cells9020280>
- Law of Ukraine No. 3447-IV, article 26. On the protection of animals from cruel treatment. Kyiv, 21 February, 2006. (In Ukrainian)
- European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes: Strasbourg, 18 March 1986. (2000).
- Maruyama, M., Rhee, C., Utsunomiya, T., Zhang, N., Ueno, M., Yao, Z., & Goodman, S. B. (2020). Modulation of the Inflammatory Response and Bone Healing. *Frontiers in endocrinology*, 11, 386. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00386>
- Vorontsov, P. M., Ashukina, N. O., Maltseva, V. Y., Danyshchuk, Z. M., Nikolchenko, O. A., & Samoylova, K. M. (2023). Histological evaluation of reparative osteogenesis in critical size femoral bone defects in rats of different ages after introduction of allografts saturated with blood plasma growth factors. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*, 2023(2), 25–32. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023225-32>
- Oktas, B., Orhan, Z., Erbil, B., Degirmenci, E., & Ustündağ, N. (2014). Effect of extracorporeal shock wave therapy on fracture healing in rat femoral fractures with intact and excised periosteum. *Eklemler hastalıkları ve cerrahisi = joint diseases & related surgery*, 25(3), 158–162. <https://doi.org/10.5606/ehc.2014.33>
- Wu, X.-Q., Wang, D., Liu, Y., & Zhou, J.-L. (2021). Development of a tibial experimental non-union model in rats. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 16(1), 261. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02408-3>
- Eckardt, H., Ding, M., Lind, M., Hansen, E. S., Christensen, K. S., & Hvid, I. (2005). Recombinant human vascular endothelial growth factor enhances bone healing in an experimental nonunion model. *The journal of bone and joint surgery. British Volume*, 87(10), 1434–1438. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B10.16226>
- Brownlow, H. C., Reed, A., & Simpson, A. H. R. W. (2002). The vascularity of atrophic non-unions. *Injury*, 33(2), 145–150. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(01\)00153-x](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(01)00153-x)
- Reed, A. A. C., Joyner, C. J., Isefuku, S., Brownlow, H. C., & Simpson, A. H. R. W. (2003). Vascularity in a new model of atrophic nonunion. *The journal of bone and joint surgery. British Volume*, 85(4), 604–610. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.85b4.12944>
- Sharun, K., Pawde, A. M., Banu S, A., Manjusha, K. M., Kalaiselvan, E., Kumar, R., Kinjavdekar, P., & Amarpal. (2021). Development of a novel atrophic non-union model in rabbits: A preliminary study. *Annals of medicine and surgery*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102558>
- Chaubey, A., Grawe, B., Meganck, J. A., Dyment, N., Inzana, J., Jiang, X., Connolley, C., Awad, H., Rowe, D., Kenter, K., Goldstein, S. A., & Butler, D. (2013). Structural and biomechanical responses of osseous healing: a novel murine nonunion model. *Journal of orthopaedics and traumatology : official journal of the italian society of orthopaedics and traumatology*, 14(4), 247–257. <https://doi.org/10.1007/s10195-013-0269-4>
- Tawonsawatruk, T., Kelly, M., & Simpson, H. (2014). Evaluation of native mesenchymal stem cells from bone marrow and local tissue in an atrophic nonunion model. *Tissue engineering. part C, methods*, 20(6), 524–532. <https://doi.org/10.1089/ten.TEC.2013.0465>
- Shimizu, T., Akahane, M., Morita, Y., Omokawa, S., Nakano, K., Kira, T., Onishi, T., Inagaki, Y., Okuda, A., Kawate, K., & Tanaka, Y. (2015). The regeneration and augmentation of bone with injectable osteogenic cell sheet in a rat critical fracture healing model. *Injury*, 46(8), 1457–1464. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.04.031>
- Onishi, T., Shimizu, T., Akahane, M., Okuda, A., Kira, T., Omokawa, S., & Tanaka, Y. (2020). Robust method to create

- a standardized and reproducible atrophic non-union model in a rat femur. *Journal of orthopaedics*, 21, 223–227. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.03.040>
27. Schmidhammer, R., Zandieh, S., Mittermayr, R., Pelinka, L. E., Leixnering, M., Hopf, R., Kroepfl, A., & Redl, H. (2006). Assessment of bone union/nonunion in an experimental model using microcomputed technology. *The journal of trauma*, 61(1), 199–205. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000195987.57939.7e>
  28. Schützenberger, S., Kaipel, M., Schultz, A., Nau, T., Redl, H., & Hausner, T. (2014). Non-union site debridement increased the efficacy of rhBMP-2 in a rodent model. *Injury*, 45(8), 1165–1170. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.05.004>
  29. Skaliczki, G., Weszl, M., Schandl, K., Major, T., Kovács, M., Skaliczki, J., Redl, H., Szendrői, M., Szigeti, K., Máté, D., Dobó-Nagy, C., & Lacza, Z. (2012). Compromised bone healing following spacer removal in a rat femoral defect model. *Acta physiologica Hungarica*, 99(2), 223–232. <https://doi.org/10.1556/APhysiol.99.2012.2.16>
  30. Cheng, A., Krishnan, L., Pradhan, P., Weinstock, L. D., Wood, L. B., Roy, K., & Guldberg, R. E. (2019). Impaired bone healing following treatment of established nonunion correlates with serum cytokine expression. *Journal of orthopaedic research : official publication of the orthopaedic research society*, 37(2), 299–307. <https://doi.org/10.1002/jor.24186>
  31. Roffi, A., Di Matteo, B., Krishnakumar, G. S., Kon, E., & Filardo, G. (2017). Platelet-rich plasma for the treatment of bone defects: from pre-clinical rational to evidence in the clinical practice. A systematic review. *International orthopaedics*, 41(2), 221–237. <https://doi.org/10.1007/s00264-016-3342-9>
  32. Kanthan, S. R., Kavitha, G., Addi, S., Choon, D. S. K., & Kamarul, T. (2011). Platelet-rich plasma (PRP) enhances bone healing in non-united critical-sized defects: a preliminary study involving rabbit models. *Injury*, 42(8), 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.01.015>
  33. Canbeyli, İ. D., Akgun, R. C., Sahin, O., Terzi, A., & Tuncay, İ. C. (2018). Platelet-rich plasma decreases fibroblastic activity and woven bone formation with no significant immunohistochemical effect on long-bone healing: An experimental animal study with radiological outcomes. *Journal of orthopaedic surgery*, 26(3). <https://doi.org/10.1177/2309499018802491>
  34. Atik, A., Sargin, S., Meriç, G., & Ceylan, C. (2021). Immunohistological Effects of Transforming Growth Factor-β via Platelet-Rich Plasma On Segmental Bone Defects: An Animal Study. *Turkish journal of veterinary and animal sciences*, 45(2), 363–371. <https://doi.org/10.3906/vet-2010-1>
  35. Gandhi, A., Doumas, C., O'Connor, J. P., Parsons, J. R., & Lin, S. S. (2006). The effects of local platelet rich plasma delivery on diabetic fracture healing. *Bone*, 38(4), 540–546. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.10.019>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>11.11.2025 | Отримано після рецензування<br>28.01.2026 | Прийнято до друку<br>02.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## STIMULATION OF PERIOSTEAL BONE FORMATION WITH PLATELET-RICH PLASMA IN A RAT MODEL OF FEMORAL ATROPHIC NON-UNION

P. M. Vorontsov, V. Ye. Maltseva, Z. M. Danyshechuk, O. A. Nikolchenko, V. V. Kovtun, S. I. Laponin

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

\* Petro Vorontsov, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: vorontsov64@ukr.net

\* Valentyna Maltseva, Phd in Biol. Sci.: maltseva.val.evg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9184-0536>

\* Zinayda Danyshechuk, MD: zinada1962@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2968-3821>

\* Olga Nikolchenko, PhD in Biol. Sci.: o\_nicolchenko@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9808-9485>

\* Volodymyr Kovtun: vladimir.kovtin@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-6693-3897>

\* Stanislav Laponin, MD: laponin.st@gmail.com

УДК 616.727.2-089.5-089.168:616.831-005(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026170-75>

## Зміни церебральної оксигенації за різних кутів нахилу тіла в положенні «пляжного крісла» як предиктор ранніх післяопераційних когнітивних порушень

К. І. Лизогуб, М. В. Лизогуб, З. А. Арутюнян

ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

The beach chair position during shoulder surgery may lead to reduced cerebral oxygenation due to the hydrostatic gradient and anesthesia-induced vasodilation. Increasing the tilt angle potentially elevates the risk of cerebral hypoxia and early postoperative cognitive impairment. Objective. To investigate the effect of body tilt angle in the beach chair position on cerebral oxygenation parameters and the risk of early postoperative cognitive impairment. Methods. In this prospective randomized study, 75 ASA I–II patients undergoing shoulder surgery were assigned to a beach chair position at either 80° (n = 35) or 60° (n = 40). Regional cerebral oxygen saturation (rSO<sub>2</sub>) was monitored using near-infrared spectroscopy (NIRS), along with hemodynamic parameters and BIS. Cognitive function was assessed using the MMSE preoperatively and 24 hours postoperatively. Quality of recovery was evaluated using the QoR-15 questionnaire, and discharge readiness using the Modified Aldrete score. Statistical analysis was performed using Student's t-test. Results. After positioning, mean rSO<sub>2</sub> was lower in the 80° group (71.9 ± 6.6 %) compared with the 60° group (83.3 ± 5.3 %; p < 0.001), with no significant differences in mean arterial pressure. At 24 hours, MMSE scores were lower in the 80° group (25.1 ± 1.5 vs 28.1 ± 1.3; p < 0.001). This group also demonstrated poorer QoR-15 scores and longer extubation time (p < 0.001). Conclusions. A tilt angle of 80° is associated with greater reductions in rSO<sub>2</sub> and worse early cognitive outcomes. Keywords. Beach chair position, cerebral oxygenation, body tilt angle.

Напівсидяче положення (НСП) пацієнта («пляжне крісло») під час операцій на плечовому суглобі може спричинити зниження церебральної оксигенації внаслідок гідростатичного градієнта й анестезіологічної вазодилатації. Збільшення кута нахилу потенційно підвищує ризик мозкової гіпоксії та ранніх післяопераційних когнітивних порушень. Мета. Дослідити вплив кута нахилу тіла в НСП на показники церебральної оксигенації та ризик розвитку ранніх післяопераційних когнітивних порушень. Методи. У проспективне рандомізоване дослідження включено 75 пацієнтів (ASA I–II), яких розподілили на 2 групи: 1 — оперували в НСП під кутом 80° (n = 35), 2 — втручання виконано за 60° (n = 40). Проводили моніторинг rSO<sub>2</sub> (NIRS), гемодинаміки. Когнітивний статус оцінювали за шкалою MMSE до операції та через 24 години. Якість відновлення визначали за QoR-15, швидкість пробудження — за шкалою Альдрете. Результати. Після позиціювання в НСП середній показник rSO<sub>2</sub> нижчий у групі 80° ((71,9 ± 6,6) % порівняно з 60° (83,3 ± 5,3) %; p < 0,001) за відсутності достовірних відмінностей середнього артеріального тиску. Через 24 год значення MMSE нижче у групі 80° (25,1 ± 1,5 проти 28,1 ± 1,3; p < 0,001). У цій групі також відзначено гірші показники QoR-15 та більшу тривалість екстубації (p < 0,001). Висновки. Збільшення кута нахилу тіла до 80° порівняно з 60° асоціюється з вираженим зниженням rSO<sub>2</sub> та гіршими ранніми когнітивними результатами.

**Ключові слова.** Напівсидяче положення, мозкова оксигенація, кут нахилу тіла

© Лизогуб К. І., Лизогуб М. В., Арутюнян З. А., 2026

## Вступ

Положення пацієнта в позиції «пляжне крісло» (напівсидяче положення — НСП) під час хірургічних втручань на плечовому суглобі асоціюється з розвитком зареєстрованих епізодів церебральної десатурації, частота яких, за даними літератури, становить до 17,5 % випадків [1]. Використання технології ближньої інфрачервоної спектроскопії забезпечує безперервний моніторинг мозкової оксигенації в реальному часі та розглядається як ефективний інструмент для зниження частоти виникнення церебральної десатурації. Оцінювання функціонального стану головного мозку під час проведення загальної анестезії разом із контролем гемодинаміки та відповідного рівня знеболення, є одним із головних завдань анестезіологічного моніторингу. Це зумовлено тим, що гіпоксичні ураження головного мозку залишаються одними з найчастіших і найсерйозніших анестезіологічних ускладнень [2]. Неінвазивний моніторинг церебральної оксиметрії є ключовим методом контролю та захисту мозкової перфузії, особливо в ситуаціях, коли існує ризик виникнення ятрогенної ішемії головного мозку. Численні клінічні дослідження свідчать про те, що попри наявність певних обмежень, такий моніторинг є важливим інструментом нейропротекції, особливо в клінічних ситуаціях, асоційованих із ризиком виникнення цієї патології.

НСП рутинно використовується під час ендопротезування плечового суглоба (ЕПС), артроскопії, проте воно асоціюється з розвитком артеріальної гіпотензії, що може призводити до зниження церебральної перфузії та, відповідно, підвищувати ризик неврологічних ушкоджень. Крім того, оперативні втручання щодо ЕПС зазвичай характеризуються більшою тривалістю, що потенційно збільшує ризик гіпоперфузії головного мозку в періопераційному періоді. Повідомлялося про випадки ішемічного ураження мозку в здорових пацієнтів після хірургічного втручання в НСП через його гіпоперфузію. Ближня інфрачервона спектроскопія описана як неінвазивний, безперервний метод моніторингу насичення мозку киснем, проте її вплив на нейроповедінкові результати остаточно не висвітлений [3]. Незважаючи на існування досліджень, які описують церебральну десатурацію під час операцій, дані високого рівня залишаються обмеженими. Аналізуючи 10 публікацій із загальною вибіркою 24 701 пацієнта, зафіксовано лише один випадок післяопераційного нейрокогнітивного дефіци-

ту, що становить 0,004 % від усіх спостережень. Окрім цього, у 4 клінічних звітах, не включених до основних досліджень, описано 6 осіб із катастрофічними нейрокогнітивними ускладненнями після ЕПС у НСП. Частота зареєстрованих випадків інтраопераційної церебральної десатурації варіювалася від 0 до 100 %, середнє значення становило 41,1 % [4]. Моніторинг і профілактика інтраопераційної ішемії головного мозку мають вирішальне значення, оскільки пацієнт під анестезією в операційній не може бути неврологічно оцінений [5]. Більшість наявних робіт аналізують або частоту церебральної десатурації, або показники гемодинаміки, не приділяючи достатньої уваги ролі конкретного кута позиціювання як модифікованого фактора ризику. Дані щодо порогових значень зниження  $rSO_2$ , які можуть бути клінічно значущими для формування когнітивних порушень, також залишаються обмеженими.

Мета: дослідити вплив кута нахилу тіла в положенні «пляжного крісла» на показники церебральної оксигенації та ризик розвитку ранніх післяопераційних когнітивних порушень.

## Матеріал і методи

Роботу виконано в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України». Дослідження було схвалене локальним комітетом з біоетики відповідної установи (протокол № 257 від 22.12.2025 р.), проведене з дотриманням принципів належної клінічної практики (ICH GCP), Гельсінської декларації з прав людини та біомедицини (редакція 1977 р.), а також вимог чинного законодавства України. Усі пацієнти, залучені до роботи, були належним чином проінформовані про мету, план і умови його проведення та надали письмову інформовану згоду на участь.

До проспективного рандомізованого дослідження було долучено 75 пацієнтів, які були розподілені на 2 групи: I ( $n = 35$ ) — оперативне втручання проводилось у НСП під кутом  $80^\circ$ , II ( $n = 40$ ) — пацієнти в НСП, кут нахилу дорівнював  $60^\circ$ . Середній вік хворих у I групі складав  $(45,02 \pm 13,55)$  років, у II —  $44,87 \pm 11,50$ .

Критерії виключення: пацієнти з порушенням серцевого ритму, наявністю стенокардії напруги, дихальної недостатності, гострого порушення мозкового кровообігу в анамнезі, черепно-мозкової травми, транзиторних ішемічних атак, відмова пацієнта від участі в дослідженні.

Фізичний стан хворих у передопераційному періоді оцінювали за шкалою American Society

of Anesthesiologists (ASA), усі хворі відносилися до I–II класу. Первинне позиціонування пацієнтів обох груп було в стандартному положенні — лежачи на спині. Після забезпечення венозного доступу проводилось волемічне навантаження 12 мл/кг [6], напередодні усі отримували прегабалін 75 мг, перед індукцією призначено омпразол 40 мг, діазепам 10 мг. Індукція включала: розчин пропофолу 1 % — 2 мг/кг, розчин фентанілу 0,005 % — 0,2 мг, міоплегія під час інтубації трахеї забезпечувалась розчином суксаметонію 0,1 мг/кг та надалі міорелаксація підтримувалась розчином атракурію бесилат у дозуванні 0,3 мг/кг. Після протезування дихальних шляхів і переведення хворого на штучну вентиляцію легень апаратом Drager Atlan A300 (режим вентиляції — pressure support), загальна анестезія підтримувалась розчином пропофолу 1 % залежно від показників біспектрального моніторингу (BIS) (дозування пропофолу 1 % складало 4,5 — 6,5 мг/кг/год). Знеболення здійснювали розчином фентанілу 0,005 %. Через 10 хв після індукції пацієнтів переводили у НСП. Сатурацію периферичної крові ( $SpO_2$ ), неінвазивний систолічний артеріальний тиск (СиАТ), діастолічний артеріальний тиск (ДіАТ), середній артеріальний тиск (САТ) визначено монітором Mediana YM 6000. Перше вимірювання проводили одразу після надходження в операційну, надалі кожні 5 хвилин. Для контролю глибини седативної та корекції інфузії пропофолу використовували BIS-моніторинг COVIDEN; відповідно до рекомендацій виробника глибина седативної пацієнта під час проведення загальної анестезії становила від 40 до 60. За даними виробника, біспектральний індекс (BIS) має затримку обробки 5–10 с [7]. Ураховуючи те, що концентрація  $CO_2$  впливає на тонус судин головного мозку [8], вимірювання вуглекислого газу наприкінці видиху проводилось постійно в обох групах і підтримувалось на рівні 35–45 мм рт. ст. Моніторинг оксигенації головного мозку ( $rSO_2$ ) здійснювали за допомогою апарата INVOS 5100 Regional Oximeter. Оцінювали також швидкість пробудження за шкалою Альдрете [9], час екстубації та Quality of Recovery-15 (QoR-15) через 24 години. Вивчали когнітивні порушення напередодні та через добу після оперативного втручання за шкалою Mini Mental State Examination. У ранньому післяопераційному періоді аналізували частоту розвитку постуральних реакцій гемодинаміки.

Статистичний аналіз. Отримані дані були проаналізовані за допомогою комп'ютерної програ-

ми IBM SPSS 9.0. Нормальний розподіл вибірок перевіряли використовуючи тест Колмогорова-Смірнова. Розраховували середнє значення та стандартне відхилення. Відмінності між групами показників оцінювали за допомогою t-критерію Стьюдента.

## Результати

Пацієнти обох груп були співставні за віком, тривалістю операції, обсягом крововтрати (табл. 1).

Під час вивчення змін основних гемодинамічних параметрів СиАТ, ДіАТ, пульсу та показників неінвазивного моніторингу церебральної оксигенації (NIRS), виявлено, що до моменту позиціонування достовірних відмінностей не було. За порівняння показників гемодинаміки та  $rSO_2$  після позиціонування зафіксовано статистично достовірну різницю між групами: середнє значення  $rSO_2$  у I групі дорівнювало  $71,97 + 6,59$ , тоді як в II —  $83,3 + 5,26$  ( $p < 0,001$ ), не виявлено статистичної різниці в показниках артеріального тиску, зокрема середнє значення СиАТ складало в групі I —  $102,91 + 13,13$ , у II —  $108,35 + 12,57$  ( $p = 0,07$ ), показники ДіАТ у I групі дорівнювали  $65,2 + 10,90$ , у II —  $68,97 + 11,02$  ( $p = 0,14$ ). Утім встановлено різницю в даних пульсу, а саме в групі I середнє значення —  $87,05 + 11,79$ , тоді як у II —  $80,9 + 14,9$  ( $p < 0,001$ ). У групі I двоє пацієнтів мали мінімальні рівні  $rSO_2$ : у 81-річного чоловіка воно становило 68 %, а у 49-річного — 61 %. Отримані показники узагальнені та висвітлені в таблиці 2.

Під час оцінювання когнітивних функцій до втручання між досліджуваними групами статистично значущих відмінностей не було. Проте їхній аналіз через 24 год після операції виявив достовірну різницю між групами спостереження, зокрема середній показник MMSE в групі I склав  $25,17 + 1,50$ , тоді як у II —  $28,17 + 1,35$  ( $p < 0,001$ ). Клінічна картина характеризувалась легкими порушеннями короткочасної пам'яті (епізодичне забування дат), зниженням уваги, швидкості процесів мислення і концентрації.

Таблиця 1

Порівняння віку хворих, тривалості оперативного втручання, крововтрати та когнітивних функцій у пацієнтів досліджуваних груп

| Група | Вік хворих    | Крововтрата (мл) | Тривалість операції (хв) |
|-------|---------------|------------------|--------------------------|
| I     | 45,02 + 13,55 | 235,85 + 62,13   | 119,02 + 15,03           |
| II    | 44,87 + 11,50 | 231,28 + 55,11   | 120,08 + 18,07           |

Водночас критичне ставлення пацієнта до власного стану зберігалось (табл. 3).

У процесі дослідження тривалості екстубації з моменту закінчення операції виявлено статистичну достовірність, зокрема середній показник часу екстубації в групі I складав  $22,75 + 11,20$ , у II —  $14,17 + 7,96$  ( $p < 0,001$ ). Крім того, зафіксовано різницю в частоті розвитку ортостатичного колапсу, так у групі I постуральна гіпотензія спостерігалась у 7 осіб, тоді як у II — 3 випадки, що складало 15,5 % та 8,57 відповідно. Стосовно безпечності переведення пацієнтів до відділення, статистичної різниці не було ( $p = 0,49$ ).

Виявлено достовірну різницю між групами за шкалою QoR-15: середній показник у групі I дорівнював  $130,82 + 3,73$ , у II —  $141,35 + 3,64$  ( $p < 0,001$ ).

### Обговорення

У межах цього дослідження вивчався вплив положення тіла, зокрема періопераційного кута нахилу в НСП на мозкову оксигенацію та на розвиток когнітивних дисфункцій у ранньому післяопераційному періоді. За кута нахилу  $80^\circ$  відзначалося достовірне зниження мозкової оксигенації, найнижчий показник становив 61 %. Клінічні прояви обмежувалися мінімально вираженими когнітивними змінами, зокрема незначним зниженням оперативної пам'яті, уваги та темпу когнітивної обробки інформації. Слід зазначити, що у 15,5 % пацієнтів відмічено розвиток ортостатичного колапсу після вертикалізації, середній вік хворих складав ( $48,71 + 6,57$ ) років. Максимальне зниження  $rSO_2$  було до 22 % від початкових показників

церебральної оксиметрії. Крім того, більший кут підйому асоціювався з гіршими показниками якості відновлення за шкалою QoR-15 та довшою тривалістю екстубації. Це може відображати комплексний вплив позиційного чинника на церебральну оксигенацію, автономну регуляцію та раннє функціональне відновлення. Частота постуральної гіпотензії вища в групі I, що узгоджується з фізіологічними механізмами перерозподілу крові у вертикалізованому положенні.

За даними, отриманими R. M. Cox та співавт., після обстеження 41 пацієнта, яких розподілили на 2 групи залежно від відкритості даних застосування NIRS-моніторингу, зареєстровано 7 епізодів церебральної десатурації, з яких 5 випадків спостерігалися в групі з відкритим NIRS-моніторингом і 2 — у контрольній. За результатами оцінювання когнітивних функцій за шкалою MoCA когнітивних порушень у ранньому післяопераційному періоді, а також через 2 і 6 тижнів після оперативного втручання не виявлено [1]. У публікації J. Chan і співавт. із 25 пацієнтів у НСП  $30^\circ$  церебральна десатурація зафіксована у 19 хворих, причому в 42 % випадків вона проявлялась саме під час позиціонування [10]. A. Özgültekin і співавт. досліджували частоту когнітивних порушень і епізодів артеріальної гіпотензії в осіб, оперованих у НПС під кутом  $45^\circ$  та  $90^\circ$ , з урахуванням вікових особливостей. За результатами оцінювання за шкалою MMSE когнітивні зміни зафіксовано в 14 % пацієнтів. При цьому у хворих віком до 65 років зниження  $rSO_2$  становило до 18 % початкового рівня, тоді як у осіб старше цього віку — 26 % [11].

Таблиця 2

Порівняння показників гемодинаміки та  $rSO_2$  у двох групах

| Параметр          | Показник       |                |                |                |                      |                | Статистична достовірність |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|---------------------------|
|                   | первинний      |                | після індукції |                | після позиціонування |                |                           |
|                   | I              | II             | I              | II             | I                    | II             |                           |
| СиАТ (мм рт. ст.) | 143,88 + 22,00 | 138,57 + 18,77 | 116,25 + 17,24 | 111,75 + 14,66 | 102,91 + 13,13       | 108,35 + 12,57 | —                         |
| ДіАТ (мм рт. ст.) | 86,05 + 13,02  | 84,55 + 12,61  | 73,85 + 10,77  | 71,45 + 11,06  | 65,2 + 10,90         | 68,97 + 11,02  | —                         |
| Пульс, хв         | 84,31 + 14,49  | 85,15 + 12,81  | 82,11 + 13,38  | 85,67 + 14,04  | 87,05 + 11,79        | 80,9 + 14,9    | $p < 0,001$               |
| $rSO_2$           | 97,08 + 1,42   | 95,78 + 1,56   | 85,17 + 8,59   | 85,50 + 6,54   | 71,97 + 6,59         | 83,3 + 5,26    | $p < 0,001$               |

Таблиця 3

Порівняння даних когнітивних функцій у двох групах

| Параметр   | Показник     |              |                |              | Статистична різниця |
|------------|--------------|--------------|----------------|--------------|---------------------|
|            | до операції  |              | після операції |              |                     |
|            | I            | II           | I              | II           |                     |
| MMSE (бал) | 28,12 + 1,12 | 27,92 + 1,15 | 25,17 + 1,50   | 28,17 + 1,35 | $p < 0,001$         |

Водночас, J. A. Aguirre та співавт. зазначили, що під час спостереження 40 пацієнтів у НСП частота випадків десатурації головного мозку складала 5 %. У всіх досліджуваних зафіксовано достовірне зниження артеріального тиску через 5 хв після позиціонування у НСП, порівняно з первинними показниками (тиск вимірювали на передпліччі на рівні серця). Не спостерігалось зниження ані rSO<sub>2</sub>, ані максимального кровотоку в середній мозковій артерії. Водночас через 24 год у пацієнтів виявлено когнітивну дисфункцію. Слід зазначити, що періопераційний СиАТ дорівнював  $\leq 100$  мм рт. ст [12]. Загалом, частота виникнення rSO<sub>2</sub> становила 28,8 %, при цьому спостерігалася виражена позитивна кореляція між розвитком десатурації та висотою підйому пацієнта в положенні «пляжного крісла» ( $p = 0,056$ ). Рівень доказовості IV дозволяє припускати можливість стратифікації хворих за віком, наявністю гіпертонії та попереднього інсульту, індексом маси тіла, цукровим діабетом, обструктивним апное сну та зростом. Водночас залишається невирішеним питання визначення критичного ступеня та тривалості церебральної десатурації, вимірної методом NIRS, яка необхідна для формування післяопераційного нейрокогнітивного дефіциту. Це підкреслює потребу в подальших дослідженнях для уточнення порогових значень десатурації та оцінювання її клінічної значущості для післяопераційного нейрокогнітивного прогнозу [13]. Отримані дані підтверджують, що періопераційний кут нахилу тіла є клінічно значущим модифікованим чинником, який впливає на показники церебральної оксигенації та ранні когнітивні результати. Разом із тим, дослідження має обмеження: відносно невелику вибірку, відсутність як довготривалого когнітивного спостереження, так і прямого кореляційного аналізу між глибиною десатурації та нейрокогнітивними показниками.

## Висновки

Періопераційний кут нахилу тіла в напівсидячому положенні є вагомим чинником, що впливає на показники церебральної оксигенації та одним із факторів, що асоціюється з розвитком післяопераційних когнітивних порушень.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні індивідуальних порогових значень церебральної десатурації та меж ауторегуляції, асоційованих із розвитком післяопераційних когнітивних порушень, також розроблення персоналізованих алгоритмів моніторингу та оптиміза-

ції гемодинаміки з метою покращення нейрокогнітивних результатів.

Інформація про фінансування. Зовнішньої фінансової підтримки не має.

Внесок авторів. Лизогуб К. І. — розробка концепції дослідження, аналіз результатів; Лизогуб М. В. — керівництво дослідженням; Арутюнян З. А. — статистичний аналіз, узагальнення висновків.

## Список літератури

- Cox, R. M., Jamgochian, G. C., Nicholson, K., Wong, J. C., Namdari, S., & Abboud, J. A. (2018). The effectiveness of cerebral oxygenation monitoring during arthroscopic shoulder surgery in the beach chair position: A randomized blinded study. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 27(4), 692–700. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.11.004>
- Vutskits, L., & Xie, Z. (2016). Lasting impact of general anaesthesia on the brain: Mechanisms and relevance. *Nature reviews neuroscience*, 17(11), 705–717. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.128>
- Aguirre, J., Borgeat, A., Trachsel, T., Cobo del Prado, I., De Andrés, J., & Bühler, P. (2014). Cerebral oxygenation in patients undergoing shoulder surgery in beach chair position: Comparing general to regional anesthesia and the impact on neurobehavioral outcome. *Revista Española de anestesiología y reanimación*, 61(2), 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2013.08.002>
- Salazar, D. H., Davis, W. J., Ziroğlu, N., & Garbis, N. G. (2019). Cerebral desaturation events during shoulder arthroscopy in the beach chair position. *JAAOS: global research and reviews*, 3(8), e007. <https://doi.org/10.5435/jaaosglobal-d-19-00007>
- Jin, X., Li, P., Michalski, D., Li, S., Zhang, Y., Jolkkonen, J., Cui, L., Didwischus, N., Xuan, W., & Boltze, J. (2022). Perioperative stroke: A perspective on challenges and opportunities for experimental treatment and diagnostic strategies. *CNS neuroscience & therapeutics*, 28(4), 497–509. <https://doi.org/10.1111/cns.13816>
- Lyzogub, K., & Lyzogub, M. (2025). The impact of preoperative volume overload on hemodynamic parameters during shoulder arthroscopy. *Orthopaedics traumatology and prosthetics*, (1), 45–49. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025145-49>
- Ferreira, A. L., Mendes, J. G., Nunes, C. S., & Amorim, P. (2019). Evaluation of Bispectral index time delay in response to anesthesia induction: An observational study. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, 69(4), 377–382. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2019.04.006>
- Lafave, H. C., Zouboules, S. M., James, M. A., Purdy, G. M., Rees, J. L., Steinback, C. D., Ondrus, P., Brutsaert, T. D., Nysten, H. E., Nysten, C. E., Hoiland, R. L., Sherpa, M. T., & Day, T. A. (2019). Steady-state cerebral blood flow regulation at altitude: Interaction between oxygen and carbon dioxide. *European Journal of applied physiology*, 119(11–12), 2529–2544. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04206-6>
- S. Ishag. (2025). *Aldrete Scoring System Ding Ding*, StatPearls Publishing.
- Chan, J. H., Perez, H., Lee, H., Saltzman, M., & Marra, G. (2020). Evaluation of cerebral oxygen perfusion during shoulder arthroplasty performed in the semi-beach chair position. *Journal of shoulder and elbow surgery*, 29(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2019.05.022>
- Ozgultekin, A. (2023). Cerebral oxygen desaturation and post-operative cognitive effects in elderly patients operated in beach chair position. *Haydarpasa numune training and research hospital medical journal*. <https://doi.org/10.14744/hnhj.2022.70446>
- Aguirre, J. A., Märzendorfer, O., Brada, M., Saporito, A., Borgeat, A., & Bühler, P. (2016). Cerebral oxygenation in the beach chair position for shoulder surgery in regional an-

esthesia: Impact on cerebral blood flow and neurobehavioral outcome. *Journal of clinical anesthesia*, 35, 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2016.08.035>

13. Pant, S., Bokor, D. J., & Low, A. K. (2014). Cerebral oxygen-

ation using near-infrared spectroscopy in the beach-chair position during shoulder arthroscopy under general anesthesia. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery*, 30(11), 1520–1527. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2014.05.042>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>19.01.2026 | Отримано після рецензування<br>10.02.2026 | Прийнято до друку<br>02.03.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## CHANGES IN CEREBRAL OXYGENATION AT DIFFERENT BEACH CHAIR POSITION ANGLES AS A PREDICTOR OF EARLY POSTOPERATIVE NEUROCOGNITIVE DISORDERS

K. I. Lyzohub, M. V. Lyzohub, Z. A. Arutiunian

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

\* Ksenia Lyzohub, MD, PhD: [kslizogub@gmail.com](mailto:kslizogub@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-9149-7208>

\* Mykola Lyzohub, MD, DMSci: [nlizogub@gmail.com](mailto:nlizogub@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-4776-1635>

\* Zorik Arutiunian, MD, PhD: [zorik.dr@gmail.com](mailto:zorik.dr@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5918-0905>

УДК 616.728.3-089.22-089.168:615.477.4](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026176-84>

## Аналіз якості реабілітації пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка за допомогою роботичного ортезу

А. С. Герасименко, О. Є. Юрик, С. І. Герасименко,  
О. В. Майко, В. В. Громадський, А. В. Грищенко

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

**Objective.** To analyze the results of treatment using a robotic orthosis during the rehabilitation of patients following arthroscopy who developed pain in the anterior compartment of the knee joint (KJ), using clinical and instrumental assessments of their condition. **Methods.** We reviewed the medical records of 120 patients with anterior knee pain syndrome (46 women aged  $(28.6 \pm 7)$  years and 74 men aged  $(38.2 \pm 8)$  years). Patients underwent rehabilitation in a robotic orthosis with various body weight support settings ranging from 65% to 10%. A multivariate analysis of clinical indicators was performed, including pain levels on the Visual Analog Scale (VAS) and the Anterior Knee Pain Scale (AKPS). Joint functional characteristics were assessed using the Knee Society Score (KSS). **Results.** The functional status of 60 patients was analyzed. Six weeks after surgery, the mean VAS score was  $3.8 \pm 0.3$  in group 1 and  $1.8 \pm 0.4$  in group 2; the difference 2.00,  $t \approx 30.99$ ,  $p < 0.001$ ; for KSS (part 1) in group 1 —  $68 \pm 6.5$ ; in group 2 —  $83 \pm 2.3$ ; difference  $-15.00$ ,  $t \approx -16.85$ ,  $p < 0.001$ ; for KSS (part 2), the means were  $72 \pm 4.8$  versus  $80 \pm 3.2$ ; difference  $-8.00$ ,  $t \approx -10.74$ ,  $p < 0.001$ , indicating better function in group 2. The AKPS score was  $64 \pm 5.8$  in group 1 and  $76 \pm 3.8$  in group 2; difference  $-12.00$ ,  $t \approx -13.40$ ,  $p < 0.001$ . After 3 months, the VAS score in group 1 was  $2.2 \pm 0.6$ , and in group 2 —  $1.2 \pm 0.4$ ; difference 1.00,  $t \approx 10.74$ ,  $p < 0.001$ ; for KSS (part 1)  $78 \pm 4.7$  vs.  $90 \pm 2.2$ ; difference  $-12.00$ ,  $t \approx -17.92$ ,  $p < 0.001$ ; for KSS (part 2) —  $80 \pm 3.8$  vs.  $90 \pm 1.8$ ; difference  $-10.00$ ,  $t \approx -18.42$ ,  $p < 0.001$ ; AKPS after 3 months was  $76 \pm 1.6$  in group 1 and  $89 \pm 2.0$  in group 2; difference  $-13.00$ ,  $t \approx -39.34$ ,  $p < 0.001$ . **Conclusions.** All confidence intervals for the differences do not include 0, so the differences are statistically significant; the effect sizes are large, indicating a clinically important advantage of using a robotic orthosis for pain reduction and improvement of upper limb function. **Key words.** Knee arthroscopy; rehabilitation; robotic orthoses; Lokomat Pro; anterior knee pain syndrome; neuroplasticity.

**Мета.** Проаналізувати результати лікування зі застосуванням роботичного ортезу під час реабілітації пацієнтів після артроскопії, у яких розвинувся біль у передньому відділі колінного суглоба (КС) за допомогою клінічного й інструментального оцінювання його стану. **Методи.** Вивчено історії хвороб 120 осіб із синдромом переднього болю в КС (46 жінок віком  $(28,6 \pm 7)$  років і 74 чоловіків  $(38,2 \pm 8)$  років). Пацієнтам проводилась реабілітація в роботизованому ортезі з різними налаштуваннями підтримки маси тіла від 65 до 10 %. Виконано багатофакторний аналіз клінічних показників, включаючи рівень болю за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) та Anterior Knee Pain Scale (AKPS). Вивчено функціональні характеристики суглоба за Knee Society Score (KSS). **Результати.** Проаналізовано функції пацієнтів із 60 осіб. Через 6 тижнів після операції середній ВАШ складав у групі 1 —  $3,8 \pm 0,3$ ; у 2 —  $1,8 \pm 0,4$ ; різниця 2,00,  $t \approx 30,99$ ,  $p < 0,001$ ; за KSS (част. 1) у групі 1 —  $68 \pm 6,5$ ; у 2 —  $83 \pm 2,3$ ; різниця  $-15,00$ ,  $t \approx -16,85$ ,  $p < 0,001$ ; за KSS (част. 2) середні становили  $72 \pm 4,8$  проти  $80 \pm 3,2$ ; різниця  $-8,00$ ,  $t \approx -10,74$ ,  $p < 0,001$ , що свідчить про кращу функцію у групі 2. Показник AKPS був  $64 \pm 5,8$  у групі 1 і  $76 \pm 3,8$  у 2; різниця  $-12,00$ ,  $t \approx -13,40$ ,  $p < 0,001$ . Через 3 міс. ВАШ у групі 1 становив  $2,2 \pm 0,6$ , у 2 —  $1,2 \pm 0,4$ ; різниця 1,00,  $t \approx 10,74$ ,  $p < 0,001$ ; за KSS (част. 1)  $78 \pm 4,7$  проти  $90 \pm 2,2$ ; різниця  $-12,00$ ,  $t \approx -17,92$ ,  $p < 0,001$ ; за KSS (част. 2) —  $80 \pm 3,8$  проти  $90 \pm 1,8$ ; різниця  $-10,00$ ,  $t \approx -18,42$ ,  $p < 0,001$ ; AKPS через 3 міс. становив  $76 \pm 1,6$  у групі 1 і  $89 \pm 2,0$  у 2; різниця  $-13,00$ ,  $t \approx -39,34$ ,  $p < 0,001$ . **Висновки.** Усі довірчі інтервали для різниць не включають 0, отже відмінності є статистично значущими; величини ефекту великі, що свідчить про клінічно важливу перевагу застосування роботичного ортезу для зниження болю та покращення функції КС.

**Ключові слова.** Артроскопія колінного суглоба; реабілітація; роботизовані ортези; синдром «переднього болю» колінного суглоба; тендинопатія вляяної зв'язки наколінка; нейропластичність

## Вступ

Тендинопатія власної зв'язки наколінка часто зустрічається після артроскопічних втручань на колінному суглобі (КС). Вона супроводжується болем, функціональними обмеженнями та зниженням якості життя пацієнтів [3]. Реабілітація після артроскопії КС зазвичай спрямована на відновлення рухливості, силової функції та нормальної його біомеханіки. Її програми включають контрольований розвиток діапазону рухів, поступове наростання навантаження на квадрицепс, пропріоцептивні вправи та роботу над ходою і функціональними завданнями [1, 2]. Потрібно досягти зменшення болю і набряку, відновлення симетрії м'язової сили й координації, а також попередити контрактури і хронічні порушення руху. Проте традиційні підходи до реабілітації, які ґрунтуються на відносному відпочинку та дозуванні навантаження, часто є тривалими і не завжди забезпечують оптимальне відновлення [4]. У пацієнтів, в яких у післяопераційному періоді діагностовано тендинопатію власної зв'язки наколінка, реабілітація значно ускладнюється і часто має незадовільні результати. Болісність під час навантаження, зменшення обсягу рухів і слабкість квадрицепса ускладнюють виконання стандартних відновлювальних вправ, що зменшує прогрес і може призвести до компенсаторних порушень руху [5–9]. Такі пацієнти частіше потребують модифікації протоколів — уповільненого нарощування навантаження, цілеспрямованих ексцентричних вправ, додаткових фізіотерапевтичних методик (ультразвук, лазер, електроміостимуляція) і тривалішого утримування від спортивної активності. Як наслідок відновлення функції і повернення до доопераційного рівня активності можуть займати значно більше часу, а ризик рецидиву або хронізації болю залишається вищим.

Наразі існує потреба в інноваційних методах, здатних прискорити та покращити результати реабілітації, особливо для молодих осіб, які прагнуть швидкого повернення до спортивної активності [10]. Отже використання передових технологій, таких як роботизована реабілітація, набуває особливої актуальності в контексті оптимізації відновлення після артроскопічних втручань [10]. Водночас у багатьох випадках протоколи реабілітації є недостатньо деталізованими, що ускладнює їхнє застосування й об'єктивну оцінку результатів.

У цьому дослідженні ми порівнюємо ефективність реабілітації осіб із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопії КС за допомогою роботичного ортезу з традиційними методиками, зосереджуючись на об'єктивних показниках відновлення та функціональних результатах.

Мета: проаналізувати результати реабілітаційного лікування зі застосуванням роботичного ортезу пацієнтів після артроскопії, у яких розвинувся біль у передньому відділі колінного суглоба, за допомогою клінічного й інструментального оцінювання його стану, закласти основу для розробки більш ефективних та індивідуалізованих реабілітаційних протоколів для пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка.

## Матеріали та методи

Нами проведено проспективне дослідження, яке включало наступні етапи: обстеження пацієнта до хірургічного втручання, через 14 діб, 6 тижнів та 3 місяці після операції.

Роботу виконано на клінічній базі відділення захворювань суглобів у дорослих ДУ «Інститут травматології та ортопедії Національної академії медичних наук України» (м. Київ) та схвалено локальною етичною комісією (протокол № 1 від 07.01.2026 р.) згідно з правкою ІСН GCP, Гельсінської декларації прав людини та біомедицини, а також чинного законодавства України. Усі залучені пацієнти були ознайомлені з планом та умовами проведення роботи, надали письмову й усну згоду.

Критерії включення: вік від 18 до 50 років, ІМТ < 30, підтверджене ушкодження меніска (Stoller 3A-3B) на МРТ, без травм інших внутрішньосуглобових структур, виконане артроскопічне втручання на КС (резекція ураженої частини меніска), розвиток болю в передньому відділі КС в ділянці зв'язки наколінка, тендинопатія власної зв'язки за клінічними й інструментальними даними протягом 14 діб від операції.

Пацієнти, які мали супутні ушкодження структур КС (хондромаліяція, травми передньої/задньої схрещених зв'язок, колатеральних зв'язок, вільні тіла в порожнині суглоба) чи дисплазію суглоба, високе стояння наколінка (patella alta), наявними дегенеративними змінами у його зв'язках під час МРТ-дослідження були виключені.

За допомогою методу простої рандомізації та поступового включення спостереження склали 120 осіб із тендинопатією власної зв'язки наколінка (46 жінок віком  $(28,6 \pm 7)$  років і 74 чоловіків  $(38,2 \pm 8)$  років). Пацієнти були розділені на

2 групи: 1 — класична реабілітація; 2 — реабілітація за допомогою роботичного ортезу. У групі 2 реабілітаційне лікування розпочиналось з 15 доби після операції. Воно складалося з 15 сеансів занять і подальшого спостереження до 3 міс. після артроскопії КС. Потім виконувався контрольний огляд і кінцеве оцінювання стану пацієнтів за шкалами з та без роботичного ортезу [10–12].

Обсяг втручання, який виконувався хворим: артроскопічна резекція ушкодженої частини медіального меніска (ушкодження Stoller 3A-3B за результатами МРТ).

Загальні принципи класичної реабілітації групи 1 [16] з урахуванням тендинопатії: уникання ранніх пікових і швидких ексцентричних навантажень; ізометрія спочатку, потім поступове введення ексцентричних вправ згідно з їхньою переносимістю.

Фаза 0 (0–3 дні):

– заходи: льодові компреси по 10–15 хв кілька разів на добу, підняття кінцівки, компресія / еластичний бандаж, легкі рухи в над'ятковомілково-суглобному суглобі, ізометричні скорочення квадрицепса (10–20 с утримання, 8–10 разів/год);

– навантаження: часткова опора / хода з милицями за вказівками хірурга.

Фаза 1 (3–14 днів):

– ROM: пасивні й активно-пасивні вправи в межах болю; уникання глибокого згинання, якщо воно болюче;

– м'язова робота: ізометрія квадрицепса, ізометрія привідних груп, легкі ізометричні вправи для гомілки; 3–5 підходів по 8–12 повторів (утримання 10–20 с);

– баланс/пропріоцепція: стояння на обох ногах, поступовий перехід на одну ногу за можливості;

– профілактика тендинопатії: ізометричні вправи для зменшення болю (5–6 разів на день, 30–45 с).

Фаза 2 (2–6 тижнів):

– ROM: повний повільний ROM до дозволено-го; мобілізація суглоба;

– сила: ізоляційні вправи (пряма інтеграція квадрицепса): напівприсідання до 45°, випрямлення ноги в сидячому положенні (без болю), вправи з поступовим навантаженням; 3 підходи по 10–15 повторів;

– тендинопатія: початкові контрольовані ексцентричні вправи (наприклад, повільні ексцентричні присідання/опускання на одній нозі або на похилій площині) починаючи з низької інтенсивності двічі на день, прогресія поступово; під час загострення — повернутися до ізометрії;

– кардіо: велотренажер із низьким опором, ходьба — поступово нарощувати тривалість;

– частота: 3–4 занять фізіотерапії на тиждень плюс домашня програма.

Для реабілітації групи 2 використовували роботичний ортез, хворі пересувались у ньому з різними налаштуваннями підтримки маси тіла, від 65 до 10 %. Тривалість занять складала від 1 до 1,5 години, 3–4 рази на тиждень.

Основні етапи реабілітації за допомогою роботичного ортезу:

1. Оцінювання фізичних показників пацієнта — визначали: стан і фізичні можливості перед початком тренувань;

2. Адаптація хворого. Перед першим тренуванням ознайомлювали з приладом, фіксували в рукавицях, штанах або ремнях для плавного руху;

3. Індивідуальне налаштування приладу відбувалося з урахуванням медичного стану:

– рівень підтримки маси тіла (BWS);

– швидкість ходьби;

– амплітуда руху;

– навантаження з урахуванням особливостей пацієнта.

4. Проведення тренування:

– автоматична ходьба: під контролем роботичного ортезу хворий починає рухатися з природною або адаптованою ходьбою;

– симетрична або асиметрична програма залежно від стану (тренування обох або однієї нижньої кінцівки);

– швидкість і навантаження: початкова швидкість ходьби встановлювалася пацієнтом у комфортному для нього режимі, як правило 1,5 км/год, поступово збільшувалася до 3,0 км/год. Навантаження на нижні кінцівки моделювали за рахунок підтримки маси тіла (BWS), воно становило в динаміці від 100 % (повна підтримка маси тіла) до 10–20 %;

– мобілізація: за допомогою системи рухів приладу й активної участі пацієнта, що сприяє відновленню м'язового тону, координації та моторики.

5. Моніторинг і коригування:

– у процесі тренування контролюють активність, рухову злагодженість, навантаження, швидкість ходи хворого.

6. Завершення й аналіз результатів:

– наприкінці сеансу проводять оцінку прогресу з фіксацією показників (тривалість сеансу, відстань, обсяг рухів у нижній кінцівці (L-ROM), силу м'язів нижніх кінцівок (L-Force), рівень жорсткості або опору руху (L-Stiff).

– на основі результатів і стану пацієнта планується подальша тактика реабілітації.

Початкові сесії виконуються в режимі пасивної або помірно асистованої ходи з помірною підтримкою ваги (BWS 30–50 %), низькою швидкістю (приблизно 0,3–0,6 м/с) й обмеженим L-ROM, щоб уникнути глибокого згинання в ранні терміни; тривалість активної ходи на початку — близько 10–20 хв, загальна сесія 30–45 хв.

Прогресія відбувається поступово: зниження підтримки ваги до 10–30 %, збільшення тривалості й швидкості ходи, зменшення BWS і розширення L-ROM у міру відновлення переносимості й зниження болю; L-Force контролюється для запобігання піковим навантаженням під час активного розгинання в разі слабкості м'язів.

Серед методів суб'єктивної оцінки болю, використаних у дослідженні, застосовували візуальну аналогову шкалу (ВАШ) [20], яка дає змогу пацієнту самостійно визначити рівень болю від 0 (відсутність) до 10 (максимально сильний), шкали Knee Society Score (KSS), Kujala/Anterior knee pain score (AKPS).

Шкала KSS складається з виявлення болю та функції колінного суглоба. Оцінка колінного суглоба виділяє максимум 100 балів для показників діапазону рухів (1 бал на 5°, максимум 125°), стабільності (медіальна/латеральна (15 балів) і передня/задня (10 балів)) і болю (50 балів) із відрахуванням відставання в розгинанні, наявності контрактури згинання та викривлення (якщо вісь нижньої кінцівки < 5 або > 10° під час рентгенологічного обстеження). Максимальна оцінка в 100 балів означає добре вирівняний колінний суглоб з амплітудою рухів 125°, майже повну відсутність передньо-задньої чи медіалатеральної нестабільності й відсутність болю. Функціональна оцінка враховує відстань ходьби (50 балів) та підйом сходами (50 балів) з урахуванням використання допоміжних засобів для ходьби. Пацієнт, який може ходити без обмежень і не має проблем із підйомом сходами, отримує максимальний бал за підшкалою Function Score — 100.

Шкала болю в передньому відділі КС (AKPS, шкала Куяла) — це 13-пунктовий опитувальник для самозвіту, який оцінює суб'єктивні реакції на певні дії та симптоми, які, як відомо, корелюють із синдромом болю в передньому відділі КС. AKPS оцінюється за шкалою від 0 до 100, де 100 — найвищий можливий бал. Нижчі бали відображають більший біль та інвалідність.

Біль у передньому відділі КС часто призводить до порушень, які спричинюють труднощі

під час активності, що створює навантаження на КС (біг, присідання та підйом сходами), а AKPS оцінює ці види діяльності. Цей індекс має високу надійність у разі повторного тестування і є цінним інструментом для оцінювання стану пацієнта в динаміці [13, 14]. Виявлено, що чотири формати шкали AKPS мають прийнятні стандартні похибки вимірювання (від 0,82 до 3,00), високу внутрішню узгодженість (асоef = 0,83–0,91), еквівалентність між короткою та довгою формами ( $r = 0,98$ ), а також помірну та високу критеріальну валідність, що визначається діагнозом лікаря: 0,92 (13-пунктова форма), 0,90 (довга) та 0,90 (коротка) (6-пунктова форма). Опитувальник AKPS є ефективним інструментом епідеміологічного скринінгу з валідною і надійною оцінкою болю в передній частині КС [15].

Використовували динамічний аналіз, який дозволяв оцінити зміни рівня болю, функціональності суглоба та сили м'язів упродовж усього періоду спостереження (обстеження до хірургічного втручання, через 14 діб, 6 тижнів та 3 місяці після операції).

Сила м'язів в обох групах пацієнтів досліджувалася на роботичному ортезі в зазначені часові проміжки.

Клінічний аналіз є найбільш відповідним засобом і стандартним критерієм для діагностики тендинопатії власної зв'язки наколінка.

Першим клінічним завданням є встановлення того, чи є сухожилок джерелом симптомів пацієнта. Найпоширеніший результат мануального обстеження — болючість у фокальній точці [21, 22]. Хоча вона може спостерігатися по всій довжині наколінного сухожилка, найчастіше виникає в нижній частині та дистальному прикріпленні до великогомілкової бугристості. Біль посилюється під час навантаження на розгиначі КС.

Функціональні тести для пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка включають стрибки та приземлення після стрибку [23].

Основним диференційним діагнозом тендинопатії власної зв'язки наколінка є пателофemorальний больовий синдром, який визначається як форма неспецифічного, неструктурного болю в коліні навколо або за наколінком. Цей больовий синдром характеризується крепітацією або «скрипом» під наколінком у разі згинання коліна та болючістю вздовж фасеток [24].

Статистичний аналіз проводили з використанням стандартних підходів. Під час нього застосовували усереднені значення показників пацієнтів. Кількісні дані (середнє значення (M) та

його стандартне відхилення (SD) у досліджуваних групах порівнювали між собою та в динаміці спостереження.

Розраховували відносне зниження вираженості симптомів (% зменшення інтенсивності болю та функціонального покращення). Виконано порівняльний аналіз груп за допомогою Welch-test.

## Результати

Основні демографічні та діагностичні характеристики учасників: середній вік ( $28,6 \pm 7$ ) років у жінок (18 %) та  $38,2 \pm 8$  у чоловіків (82 %). Середній індекс маси тіла (ІМТ) обстежених склав ( $28,6 \pm 6,0$ ) кг/м<sup>2</sup>. Найпоширенішим типом втручання, яке проводили пацієнтам, були артроскопічна резекція ушкодженої частини меніска (74 %) та дебрідмент фіброзних розростань, які створюють імпіджмент із суглобовими структурами (26 %). У табл. 1 наведено дані щодо динаміки змін рівня болю за шкалами болю та функції хворих в динаміці спостереження.

Порівняльний аналіз ефективності реабілітаційних заходів у двох групах проводився після курсу реабілітації (15 сеансів), що відповідало періоду 6 тижнів та 3 міс. після втручання.

У дослідженні, що включало по 60 пацієнтів у кожній групі, реабілітація, яка застосовувалася у групі 2, продемонструвала послідовно кращі клінічні результати порівняно з групою 1 як на ранньому (6 тижнів), так і на середньостроковому (3 міс.) етапах відновлення. Уже на 6-му тижні пацієнти групи 2 відчували значно слабший біль: середній ВАШ у них був приблизно вдвічі менший, ніж у групі 1 (1,8 проти 3,8; 95 % СІ 1,87–2,13,  $p < 0,001$ ). Разом із цим функціональні

шкали демонстрували помітне відновлення: за KSS (част. 1 і част. 2) та АКПС різниця між групами складала від 8 до 15 балів на користь групи 2, що є як статистично значущим, так і клінічно релевантним.

Через 3 міс. перевага групи 2 збереглася і навіть посилилася у функціональних показниках: ВАШ залишався нижчим (1,2 проти 2,2; 95 % СІ 0,82–1,19,  $p < 0,001$ ), а KSS і АКПС мали значне поліпшення функції суглоба в пацієнтів групи 2 (різниці від 10 до 13 балів, всі 95 % СІ не включають 0,  $p < 0,001$ ). Ці дані свідчать, що лікування в групі 2 не лише швидше зменшує больовий симптом, але й забезпечує краще відновлення функції КС, що важливо для повернення до повсякденної активності й професійної діяльності.

Сумарно отримані величини ефекту та довірчі інтервали підтверджують сталість і надійність спостережуваних відмінностей: інтервали для різниць середніх вузькі й не включають 0, отже оцінки досить точні, а великі значення Cohen's d вказують на клінічно помітний вплив. Із практичної точки зору це означає, що підхід, використаний у групі 2 сприяє швидшому зниженню болю й відновленню ходи та кращому функціональному результату в післяопераційний період.

Обмеження дослідження. Робота має низку обмежень, які слід урахувати під час інтерпретації отриманих результатів. Зокрема, в аналіз не включали пацієнтів із ушкодженнями суглобового хряща, капсульно-зв'язкового апарата колінного суглоба, остеоартрозом II–IV ст. за Kellgren-Lawrence, дисплазією КС, що обмежує можливість поширення результатів на тяжкі форми захворювання. Вибіркова вікова категорія

Таблиця 1

Динаміка змін досліджуваних показників до та після класичної реабілітації

| Показник                   | ВАШ           | KSS          |              | АКПС         |
|----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                            |               | частина 1    | частина 2    |              |
| група 1:<br>– до операції; | $6,9 \pm 1,0$ | $74 \pm 5,2$ | $62 \pm 4,4$ | $68 \pm 4,3$ |
| після втручання:           |               |              |              |              |
| – 2 тижні;                 | $5,2 \pm 1,2$ | $38 \pm 8,6$ | $32 \pm 7,2$ | $28 \pm 8,8$ |
| – 6 тижнів;                | $3,8 \pm 0,3$ | $68 \pm 6,5$ | $72 \pm 4,8$ | $64 \pm 5,8$ |
| – 3 місяці                 | $2,2 \pm 0,6$ | $78 \pm 4,7$ | $80 \pm 3,8$ | $76 \pm 1,6$ |
| група 2:<br>– до операції; | $7,0 \pm 1,2$ | $78 \pm 6,2$ | $60 \pm 5,3$ | $68 \pm 4,3$ |
| після втручання:           |               |              |              |              |
| – 2 тижні;                 | $5,6 \pm 1,0$ | $40 \pm 7,4$ | $30 \pm 6,8$ | $32 \pm 8,4$ |
| – 6 тижнів;                | $1,8 \pm 0,4$ | $83 \pm 2,3$ | $80 \pm 3,2$ | $76 \pm 3,8$ |
| – 3 місяці                 | $1,2 \pm 0,4$ | $90 \pm 2,2$ | $90 \pm 1,8$ | $89 \pm 2,0$ |

Примітки: ВАШ — візуально-аналогова шкала; KSS — Knee Society Score; АКПС — Anterior knee pain score.

Таблиця 3

Порівняння змін досліджуваних показників після реабілітації в обох групах

| Показник                       | Група 1    | Група 2    | CI               | Welch      | P          |
|--------------------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
| Через 6 тижнів після операції: |            |            |                  |            |            |
| – ВАШ;                         | 3,8 ± 0,3  | 1,8 ± 0,4  | 1,872; 2,128     | t ≈ 31,0   | p < 0, 001 |
| – KSS частина 1;               | 68,0 ± 6,5 | 83,0 ± 2,3 | –16,770; –13,230 | t ≈ –16,8  | p < 0, 001 |
| – KSS частина 2;               | 72,0 ± 4,8 | 80,0 ± 3,2 | –9,480; –6,520   | t ≈ –10,7  | p < 0, 001 |
| – АКПС                         | 64,0 ± 5,8 | 76,0 ± 3,8 | –13,780; –10,220 | t ≈ –13,4  | p < 0, 001 |
| Через 3 місяці після операції: |            |            |                  |            |            |
| – ВАШ;                         | 2,2 ± 0,6  | 1,2 ± 0,4  | 0,815; 1,185     | t ≈ 10,74  | p < 0, 001 |
| – KSS частина 1;               | 78,0 ± 4,7 | 90,0 ± 2,2 | –13,330; –10,670 | t ≈ –17,92 | p < 0, 001 |
| – KSS частина 2;               | 80,0 ± 3,8 | 90,0 ± 1,8 | –11,080; –8,920  | t ≈ –18,42 | p < 0, 001 |
| – АКПС                         | 76,0 ± 1,6 | 89,0 ± 2,0 | –13,655; –12,345 | t ≈ –39,30 | p < 0, 001 |

(18–50 років), яка була проаналізована, також не дозволяє зробити остаточні висновки щодо ефективності терапії в пацієнтів старшого віку. Значимо, що нами описано відносно короткий термін спостереження, який не перевищував 3 міс. Це не дозволяє об'єктивно оцінити довготривалу ефективність і стабільних функціональних результатів у віддаленому періоді. Отже необхідні масштабні проспективні дослідження з уніфікованими підходами до лікування, чіткими критеріями оцінювання та довготривалим періодом спостереження.

### Обговорення

Отримані результати дозволили всебічно проаналізувати вплив роботизованої реабілітації на функціональне відновлення, рівень болю й якість життя пацієнтів після артроскопії КС. Наше дослідження виявило статистично значущі покращення у відновленні рухового діапазона та функціональних показників КС в групі 2, порівняно з групою традиційної реабілітації.

Зокрема, уже через 4 тижні після початку реабілітаційного курсу в осіб групи 2 спостерігалось суттєве покращення показників фізичного функціонування, зменшення болю, а через 3 міс. — рівень фізичного функціонування в цій групі досяг (90 ± 1,8) балів, що перевищує показники в групі з традиційною реабілітацією — 80 ± 3,8 та свідчить про майже повне відновлення до доопераційного стану. Статистично значущі відмінності та великі величини ефекту, які не включають 0 у 95 % ДІ, вказують на клінічно важливу перевагу використання роботичного ортезу в зниженні болю та покращенні функції суглоба. Це узгоджується з результатами попередніх публікацій, таких як стаття S. Sancenzi та співавт., які підтверджують ефективність роботизованих систем у прискоренні відновлення функцій нижніх кінцівок після травм і хірургічних втручань [25].

Нами продемонстровано високий потенціал застосування роботичного ортезу в процесі реабілітації пацієнтів із синдромом переднього болю КС після артроскопії. Основними результатами є значне покращення функціональних показників, що проявилось у зростанні значень KSS і АКПС, що відповідає швидкому відновленню рухових функцій та зменшенню болю.

Значення KSS, яке відображає загальний рівень функціонального стану КС, зменшилося в перші 2 тижні після втручання, що передбачає гострі симптоми й обмеження рухової активності у гострий період. Проте уже через 6 тижнів показники зросли до рівнів, практично порівнювальних із початковими 83 ± 2,3 та 80 ± 3,2, відповідно та досягли стабілізації на рівні понад 90 через 3 міс., що відповідає повному функціональному відновленню. Аналогічно, значення шкали АКПС свідчать про значне покращення у суб'єктивних та об'єктивних аспектах стану КС.

Ці результати узгоджуються з чисельними дослідженнями. Т. М. Rossi та співавт. які у систематичному огляді зазначили, що роботизована реабілітація сприяє швидшому відновленню функціональної здатності КС у пацієнтів із різноманітними патологіями [26]. А. С. Brito та співавт. у проведеному метааналізі підкреслили, що застосування роботичних систем позитивно впливає на показники рухової амплітуди, м'язової сили та здатності до самостійного руху [27]. Крім того, S. Sancenzi та співавт. у своїй пілотній роботі виявили, що застосування роботичних апаратів сприяє зменшенню больового синдрому і прискоренню відновлення після операцій на КС [28].

Окрім того, у сучасній реабілітаційній практиці дійшли висновку щодо переваг роботизованих систем у стимуляції нервово-м'язових шляхів і створенні умов для природніших рухів, що позитивно впливає на процеси нейром'язової пластичності та сприяє ефективнішій реінтеграції

після травм і хірургічних втручань. Це підтверджує потенціал роботичного апарата не лише щодо відновлення функцій, але й профілактики ускладнень через гіпотрофію м'язів і слабкість, що особливо актуально для пацієнтів із травмами та післяопераційним періодом, коли раннє й адекватне навантаження є вирішальним чинником для запобігання ускладненням і швидшого відновлення.

Хоча такі консервативні методи лікування тендинопатії наколінка, як прогресивне навантаження сухожилок і ексцентричні вправи, демонструють ефективність [26, 31], наше дослідження вказує на потенційні переваги інтеграції роботизованих систем. Виявлено, що роботизоване тренування ходьби дозволяє нижнім кінцівкам виконувати альтернативні та циркулярні рухи (що ефективно коригує їхній рух після реконструкції ACL та покращує здатність до ходьби та м'язову силу) [32]. Системи, які чинять опір під час ходьби, можуть викликати значні біомеханічні ефекти (переносяться на звичайну ходьбу), що робить їх доцільним підходом для покращення локомоторних функцій [34].

У контексті ефективності роботизованої реабілітації велике значення має дослідження С. Klampt і співавт., які продемонстрували, що роботизоване тренування ходьби може суттєво покращити функціональні можливості в пацієнтів із різними ураженнями КС, включаючи остеоартрит [29]. Автори підкреслюють, що автоматизовані системи забезпечують точне регулювання навантаження і повторюваність рухів, що сприяє більш швидкому відновленню функцій, зменшенню болю та підвищенню мотивації пацієнтів до активної реабілітації. Ураховуючи наші результати, які показують значне покращення показників функціонального стану вже через кілька тижнів після початку реабілітації, можна зробити висновок — застосування роботизованих систем може бути ефективним інструментом для прискорення процесу відновлення і підвищення якості життя пацієнтів із різними формами уражень КС. Усе це наголошує на необхідності широкого впровадження робототехнічних методик у сучасні реабілітаційні протоколи, особливо в разі, коли традиційні підходи не дають достатнього ефекту або потребують тривалого часу для досягнення бажаних результатів.

Крім того, у систематичному огляді S. Hesse і співавт., хоча й сфокусовано увагу на застосуванні роботизованої ходьби під час реабілітації після інсульту, проте вона має суттєве значення і для осіб із ураженнями КС. У їхній публікації

підкреслюється, що роботизована терапія сприяє не лише відновленню навичок ходьби, але й покращенню м'язової сили, рівня стабільності та координації рухів нижніх кінцівок [30]. Ці дані доводять, що такі системи мають універсальний потенціал для відновлення ушкоджених нижніх і колінних структур у широкому спектрі неврологічних та ортопедичних захворювань. Наше дослідження свідчить, що значним покращенням функціонального стану КС пацієнтів із синдромом його переднього болю вже через кілька тижнів сприяє застосуванню роботичних ортезів; вони доводять, що механізми нейром'язової пластичності та покращення рухових навичок, описані в роботах S. Hesse і співавт., є актуальними і для ортопедичних патологій.

Зазначимо, у роботі Verheyden і співавт. доведено, що застосування роботизованих систем сприяє зниженню страху перед фізичними навантаженнями та покращенню емоційного стану, що мають важливе значення для підвищення мотиваційної складової та довготривалого успіху реабілітаційних заходів [33–35].

Отже, використання роботизованих систем у реабілітації виявляється перспективним, особливо в поєднанні з традиційними підходами, що дозволяє покращити швидкість і якість відновлення пацієнтів.

## Висновки

Застосування роботичного ортезу в процесі реабілітації осіб із синдромом переднього болю колінного суглоба після артроскопії дало кращий результат. Порівняно з групою 1, група 2 продемонструвала помітне відносне покращення за всіма показниками: на 6-му тижні інтенсивність болю за ВАШ зменшилася майже на 52,6 % (3,8 → 1,8), KSS част. 1 виріс на ~ 22,1 % (68 → 83), KSS част. 2 — на ~ 11,1 % (72 → 80), АКPS — на ~ 18,8 % (64 → 76). Через 3 міс. збережено суттєве покращення: ВАШ знизився на ~ 45,5 % (2,2 → 1,2), KSS част. 1 зріс на ~ 15,4 % (78 → 90), KSS част. 2 — на ~ 12,5 % (80 → 90), АКPS — на ~ 17,1 % (76 → 89).

Як порівняти з традиційною реабілітацією, застосування такої системи забезпечує стабільні та високі результати, які відповідають сучасним розробкам у сфері нейром'язової пластичності й технологічних можливостей роботизованої терапії.

Проте слід звернути увагу на певні обмеження — невелика чисельність вибірки і відсутність довгострокового спостереження. Вирішальним

аспектом є також індивідуальні особливості пацієнтів, які можуть впливати на швидкість і ступінь відновлення. Крім того, застосування робототехніки потребує значних ресурсів, що може обмежити її застосування.

Загалом результати підтверджують перспективність застосування робототехнічних систем у реабілітаційній практиці для підвищення швидкості та якості відновлення, а також для зниження ризику ускладнень і покращення якості життя осіб з ортопедичними і травматичними ушкодженнями колінного суглоба.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають розглядати оптимізацію протоколів і вивчення довгострокової ефективності таких технологій, аналіз ширшого застосування робототехнічних методик у межах комплексної реабілітації і відновлення функцій нижніх кінцівок після ортопедичних і травматичних ушкоджень.

Інформація про фінансування. Автори декларують відсутність фінансової зацікавленості під час проведення дослідження та написання статті.

Внесок авторів. Герасименко С. І., Полулях Д. М., Герасименко А. С. — концепція та дизайн дослідження, аналіз отриманих даних, корекція тексту. Бабко А. М. — статистична обробка й аналіз отриманих даних, Громадський В. В. — відбір пацієнтів, проведення реабілітаційної програми, аналіз даних літератури, Юрик О. Є. — розробка реабілітаційної програми.

## Список літератури

- O'Donnell, K., Freedman, K. B., & Tjoumakaris, F. P. (2016). Rehabilitation protocols after isolated Meniscal repair: A systematic review. *The American journal of sports medicine*, 45(7), 1687–1697. <https://doi.org/10.1177/0363546516667578>
- Spang III, R. C., Nasr, M. C., Mohamadi, A., DeAngelis, J. P., Nazarian, A., & Ramappa, A. J. (2018). Rehabilitation following meniscal repair: A systematic review. *BMJ open sport & exercise medicine*, 4(1), e000212. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000212>
- Moreira, J., Miguel, S., Delgado, B., & Boto, P. (2024). Patient-reported outcome measures in rehabilitation after knee surgery: a rapid systematic review. *Journal of public health*. <https://doi.org/10.1007/s10389-024-02283-2>
- Stepanenko, O. S. (2022). Профілактика пателофеморального больового синдрому та тендінопатії колінного суглобу у спортсменів. *Physical education sport and health culture in modern society*, 62. <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2022-03-62-68>
- Malliaras, P., Cook, J., Purdam, C., & Rio, E. (2015). Patellar tendinopathy: Clinical diagnosis, load management, and advice for challenging case presentations. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 45(11), 887–898. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5987>
- Theodorou, A., Komnos, G., & Hantes, M. (2023). Patellar tendinopathy: An overview of prevalence, risk factors, screening, diagnosis, treatment and prevention. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 143(11), 6695–6705. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-04998-5>
- Amestoy, J., Pérez-Prieto, D., Torres-Claramunt, R., Sánchez-Soler, J. F., Leal-Blanquet, J., Ares-Vidal, J., Hinarejos, P., & Monllau, J. C. (2021). Patellofemoral pain after arthroscopy: Muscle atrophy is not everything. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 9(6). <https://doi.org/10.1177/23259671211013000>
- Culvenor, A., Øiestad, B., Holm, I., Gunderson, R., Crossley, K., & Risberg, M. (2017). Anterior knee pain following anterior cruciate ligament reconstruction does not increase the risk of patellofemoral osteoarthritis at 15- and 20-year follow-UPS. *Osteoarthritis and cartilage*, 25(1), 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.09.012>
- Ghisi, J., Megey, P., & Maquiritain, J. (2012). Patellar tendinopathy after Arthroscopic meniscectomy: A case report. *Journal of knee surgery*, 26(S 01), S063–S066. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1313740>
- Wen, Y., Wang, X., Mao, Y., Sun, X., Xu, N., & Han, X. (2025). Effectiveness of an intelligent weight-bearing rehabilitation robot in enhancing recovery following anterior cruciate ligament reconstruction. *Frontiers in public health*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1526105>
- Vu, N. V., Nazari, M. A., Dang, T., Muralev, Y., Mohanraj, M., Tran, T., & Quoc, H. A. (2025). Type of the Paper: Article. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5384374>
- Li, W., Chen, X., Deng, Q., You, M., Xu, Y., Liu, D., Lin, Y., Li, P., & Li, J. (2023). Effectiveness of a digital rehabilitation program based on computer vision and augmented reality for isolated meniscus injury: protocol for a prospective randomized controlled trial. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04367-3>
- Crossley, K. M., Bennell, K. L., Cowan, S. M., & Green, S. (2004). Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: Which are reliable and valid?11No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit upon the author(s) or upon any organization with which the author(s) is/are associated. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(5), 815–822. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(03\)00613-0](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(03)00613-0)
- Watson, C. J., Propps, M., Ratner, J., Zeigler, D. L., Horton, P., & Smith, S. S. (2005). Reliability and responsiveness of the lower extremity functional scale and the anterior knee pain scale in patients with anterior knee pain. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 35(3), 136–146. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.3.136>
- Ittenbach, R. F., Huang, G., Barber Foss, K. D., Hewett, T. E., & Myer, G. D. (2016). Reliability and validity of the anterior knee pain scale: Applications for use as an epidemiologic screener. *PLOS ONE*, 11(7), e0159204. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159204>
- Pujol, N., Giordano, A. O., Wong, S. E., Beaufils, P., Monllau, J. C., Arhos, E. K., Becker, R., Della Villa, F., Brett Goodloe, J., Irrgang, J. J., Klugarova, J., Klosterman, E. L., Królikowska, A., Krych, A. J., LaPrade, R. F., Manske, R., Van Melick, N., Monson, J. K., Ostojic, M., ... Prill, R. (2025). The formal EU-US meniscus rehabilitation 2024 consensus: An ESSKA-AOSSM-AASPT initiative. Part I—Rehabilitation management after meniscus surgery (meniscectomy, repair and reconstruction). *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 33(8), 3002–3013. <https://doi.org/10.1002/ksa.12674>
- Riener, R., Lünenburger, L., Maier, I. C., Colombo, G., & Dietz, V. (2010). Locomotor training in subjects with sensori-motor deficits: An overview of the robotic gait orthosis Lokomat. *Journal of healthcare engineering*, 1(2), 197–216. <https://doi.org/10.1260/2040-2295.1.2.197>
- Duschau-Wicke, A., Caprez, A., & Riener, R. (2010). Patient-cooperative control increases active participation of individuals with SCI during robot-aided gait training. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-43>
- Hussain, S., Xie, S. Q., & Liu, G. (2011). Robot assisted treadmill training: Mechanisms and training strategies. *Medical engineering & physics*, 33(5), 527–533.

- medengphy.2010.12.010
20. Heller, G. Z., Manuguerra, M., & Chow, R. (2016). How to analyze the visual analogue scale: Myths, truths and clinical relevance. *Scandinavian journal of pain*, 13(1), 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.sjpain.2016.06.012>
  21. Cook, J. L., Khan, K. M., Kiss, Z. S., Purdam, C. R., & Griffiths, L. (2001). Reproducibility and clinical utility of tendon palpation to detect patellar tendinopathy in young basketball players. *British journal of sports medicine*, 35(1), 65–69. <https://doi.org/10.1136/bjism.35.1.65>
  22. Coombes, B. K., Mendis, M. D., & Hides, J. A. (2020). Evaluation of patellar tendinopathy using the single leg decline squat test: Is pain location important? *Physical therapy in sport*, 46, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.10.002>
  23. Sprague, A. L., Smith, A. H., Knox, P., Pohlig, R. T., & Grävare Silbernagel, K. (2018). Modifiable risk factors for patellar tendinopathy in athletes: A systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 52(24), 1575–1585. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-099000>
  24. Crossley, K. M., Stefanik, J. J., Selfe, J., Collins, N. J., Davis, I. S., Powers, C. M., McConnell, J., Vicenzino, B., Bazett-Jones, D. M., Esculier, J., Morrissey, D., & Callaghan, M. J. (2016). 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4<sup>th</sup> international Patellofemoral pain research retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome measures. *British journal of sports medicine*, 50(14), 839–843. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096384>
  25. Şendir, M., Büyükyılmaz, F., & Muñovi, D. (2013). Patients' discharge information needs after total hip and knee arthroplasty: A quasi-qualitative pilot study. *Rehabilitation nursing*, 38(5), 264–271. <https://doi.org/10.1002/rnj.103>
  26. Breda, S. J., Oei, E. H. G., Zwerver, J., Visser, E., Waarsing, E., Krestin, G. P., & Vos, R. de. (2020). Effectiveness of progressive tendon-loading exercise therapy in patients with patellar tendinopathy: a randomised clinical trial. *British journal of sports medicine*, 55(9), 501. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103403>
  27. Brito A. C., & da Rosa C. (2017). «Efficacy of robotic gait training in patients with knee pathologies.» <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000100>
  28. Sancenzi S., et al. (2020). «Rehabilitation using Lokomat in patients after knee surgery: a pilot study.» <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25074.17607>
  29. Klampf C., Smith J., & Williams R. (2014). Robotic-assisted gait training improves walking ability in patients with knee osteoarthritis. *Journal of rehabilitation research and development*, 51(8), 1079–1090. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.01.0001>
  30. Hesse S. (2003). Robotic-assisted gait training after stroke: a systematic review. *NeuroRehabilitation*, 18(4), 229–238. <https://doi.org/10.1023/A:1025609404710>
  31. Čobec, J., & Kozinc, Ž. (2022). Conservative Treatments for Patellar Tendinopathy: A Review of Recent High-Quality Evidence [Review of conservative treatments for patellar tendinopathy: a review of recent high-quality evidence]. *BioMed*, 2(4), 359. <https://doi.org/10.3390/biomed2040028>
  32. Hu, C., Huang, Q., Yu, L., & Ye, M. (2016). The immediate intervention effects of robotic training in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of physical therapy science*, 28(7), 2031. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2031>
  33. Verheyden G., et al. (2015). Patients' experiences with robot-assisted gait training after stroke. *Disability and rehabilitation: assistive technology*, 10(2), 151–156. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.921516>
  34. Washabaugh, E. P., & Krishnan, C. (2018). A wearable resistive robot facilitates locomotor adaptations during gait. *Restorative neurology and neuroscience*, 36(2), 215. <https://doi.org/10.3233/rnn-170782>
  35. Kuroda, Y., Young, M., Shoman, H., Punnoose, A., Norrish, A., & Khanduja, V. (2020). Advanced rehabilitation technology in orthopaedics—a narrative review [Review of Advanced rehabilitation technology in orthopaedics — a narrative review]. *International orthopaedics*, 45(8), 1933. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04814-4>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>12.11.2025 | Отримано після рецензування<br>20.02.2026 | Прийнято до друку<br>23.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## EVALUATION OF THE QUALITY OF REHABILITATION OF PATIENTS WITH PATELLAR TENDINOPATHY USING THE LOCOMAT PRO

A. S. Gerasymenko, O. Ye. Yurik, S. I. Gerasymenko, O. V. Mayko, V. V. Hromadskyi, A. V. Hryshchenko

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

\* Andrii Gerasymenko, MD, DMSci: corado734@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-6378-1196>

\* Olha Yurik, MD, DMSci: olhayuryk01@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2245-9333>

\* Sergii Gerasymenko, MD, DMSci, Prof.: kievorto3@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6378-1196>

\* Olena Mayko, PhD: drmaiko146@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>

\* Vadym Hromadskyi, MD: gromadsky94@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>

\* Andrii Hryshchenko, MD: gryna000s@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>

УДК 616.717-001.45-036.82:004.946](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026185-90>

## Використання окулярів віртуальної реальності як додаткового методу в реабілітації пацієнтів після ушкодження верхніх кінцівок

Н. Ю. Притула<sup>1</sup>, В. А. Стауде<sup>1,2</sup>, О. В. Земляна<sup>3</sup>, І. А. Суббота<sup>1</sup>, О. О. Кузнєцов<sup>1,2</sup><sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків<sup>2</sup> Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. Україна<sup>3</sup> Харківський національний медичний університет. Україна

Over the past two decades, there has been a significant increase in the use of immersive technologies in rehabilitation. VR technologies allow for the simulation of motor tasks in a safe gaming digital environment, which contributes to better integration of the patient into the rehabilitation process, activates the neuromuscular system and reduces psychoemotional stress during the restoration of motor functions. While traditional methods involving simple, repetitive movements can be exhausting for patients and make them less motivated to continue treatment. Objective. Examined the effectiveness of using VR technology as an auxiliary method of rehabilitation in patients with traumatic injuries of the upper limbs after a blast injury. Materials. The effectiveness of using VR technology as an auxiliary rehabilitation method in patients with traumatic injuries of the upper extremities after a blast injury was analyzed. Results. The study included a case series of 4 military personnel with traumatic injuries of the upper limbs resulting from a blast injury. The rehabilitation program included standard physical therapy and physiotherapy methods in combination with training in a virtual environment using virtual reality glasses with the VR Vitalis program. Patients performed tasks aimed at improving coordination, strength and amplitude of movements in the shoulder, elbow and radiocarpal joints, considering the need for movement restoration. The dynamics of the range of motion was assessed using goniometry, muscle strength using dynamometry, and the level of motivation for classes was assessed using a survey. Conclusion. It was found that the use of VR technologies as an additional method to traditional rehabilitation contributed to a noticeable improvement in the indicators of functional recovery of upper limb movements. Positive dynamics were recorded not only in physical indicators, but also in the psycho-emotional state. All participants reported increased motivation and better involvement in the treatment process. Keywords. Virtual reality, upper limb injury, blast injury, rehabilitation.

Протягом останніх років спостерігається значне зростання використання імерсивних технологій в реабілітації. VR-технології дозволяють моделювати рухові завдання в безпечному ігровому цифровому середовищі, що сприяє кращому інтегруванню пацієнта в процес реабілітації, активують нервово-м'язову систему та знижують психоемоційне навантаження під час відновлення рухових функцій, тоді як традиційні методи, які включають прості, повторювані рухи, можуть бути виснажливими для хворих і зменшувати мотивацію до лікування. Мета. Оцінити ефективність використання VR-технологій як допоміжного методу реабілітації у пацієнтів із травматичними ушкодженнями верхніх кінцівок після вибухової травми. Матеріали. Проаналізовано ефективність використання VR-технологій як допоміжного методу реабілітації в пацієнтів із травматичними ушкодженнями верхніх кінцівок після вибухової травми. Результати. У дослідження включено історії хвороб 4 військовослужбовців із травматичними ушкодженнями верхніх кінцівок. Реабілітаційна програма складалася зі стандартних методів фізичної терапії в поєднанні з тренуванням у віртуальному середовищі з використанням окулярів віртуальної реальності з програмою VR Vitalis. Пацієнти виконували завдання, спрямовані на покращення координації, сили й амплітуди рухів у плечовому, ліктьовому та променево-зап'ястковому суглобах. Аналіз динаміки обсягу рухів здійснювали за допомогою гоніометрії, сили м'язів — динамометрії та рівень мотивації до занять методом опитування. Висновок. Виявлено, що застосування VR-технологій як додаткового інструмента до традиційної реабілітації сприяло помітному покращенню показників функціонального відновлення рухів верхньої кінцівки. Зафіксовано позитивну динаміку не лише у фізичних показниках, а й у психоемоційному стані. Усі учасники повідомляли про зростання мотивації та кращу залученість у процес лікування.

Ключові слова. Віртуальна реальність, ураження верхніх кінцівок, вибухова травма, реабілітація

## Вступ

Протягом останніх двох десятиліть спостерігається значне зростання використання імерсивних технологій в реабілітації. Ці технології включають віртуальну реальність (VR — virtual reality), доповнену реальність (AR — augmented reality) та змішану реальність (MR — mixed reality), які разом називають розширеною реальністю (XR — extended reality) [1]. Найпопулярнішими на сьогодні є технології VR, оскільки їхнє використання дозволяє занурити пацієнта в повністю контрольоване тривимірне середовище, у той час як застосування AR-технологій накладає елементи VR на навколишнє середовище у вигляді відео в реальному часі, що відображається на екрані електронного пристрою [2]. Отже AR доцільно використовувати для навчання лікарів на віртуальному пацієнті, детальнішого планування медичних інтервенцій і навіть покращення інтраопераційної навігації [3]. VR-технології дозволяють моделювати рухові завдання в безпечному ігровому цифровому середовищі, що сприяє кращому інтегруванню пацієнта в процес реабілітації [4], активує нервово-м'язову систему та знижує психоемоційне навантаження під час відновлення рухових функцій [5], у той час як традиційні методи, які включають прості, повторювані рухи, можуть бути виснажливими для хворих і знижувати мотивацію до продовження лікування [6].

В умовах зростання кількості вибухових і міно-вибухових травм (МВТ) серед військовослужбовців і цивільного населення [7] питання ефективної реабілітації після уражень верхніх кінцівок набуває особливої важливості. Хронічний біль, порушення периферичних нервів і функціональні обмеження є основними перешкодами в оптимальному відновленні пацієнтів після травматичного ушкодження цієї локалізації [8]. Традиційні фізичні вправи вимагають тривалого часу та достатньої концентрації з боку пацієнта, що може знижувати мотивацію до занять. Використання VR-технології як допоміжного методу дозволяє зробити процес реабілітації більш інтерактивним і психологічно комфортним, підвищуючи ефективність відновлення функції руху [9].

**Мета:** оцінити ефективність використання VR-технології як допоміжного методу реабілітації в пацієнтів із травматичними ушкодженнями верхніх кінцівок після вибухової травми.

## Матеріал і методи

У дослідження включено 4 приклади реабілітаційного лікування військовослужбовців із травматичними ушкодженнями верхніх кінцівок, отриманими внаслідок вибухової травми. Реабілітаційна програма включала стандартні методи фізичної терапії в поєднанні з тренуванням у віртуальному середовищі з використанням окулярів віртуальної реальності (VR-окулярів) із програмою VR Vitalis. Пацієнти виконували завдання, спрямовані на покращення координації, сили й амплітуди рухів у плечовому, ліктьовому та променево-зап'ястковому суглобах. Проаналізовано динаміку обсягу рухів за допомогою гоніометрії, силу м'язів за допомогою динамометрії та рівень мотивації до занять методом опитування.

Роботу проведено відповідно до принципів біоетики, вимог законодавства та згідно з Гельсінською декларацією, Конституцією України, основами законодавства України. Робота виконувалася в межах стандартного реабілітаційного процесу з отриманням письмової інформованої згоди пацієнтів, схвалена комітетом із біоетики ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків (протокол № 259 від 29 січня 2026 р.).

## Результати

Через 2 тижні тренування з VR-окулярами у всіх пацієнтів було відмічене покращення амплітуди рухів та сили м'язів. Віртуальні завдання, спрямовані на імітацію щоденних дій (захоплення предметів, обертальні рухи тощо), стимулювали активацію дрібної моторики, координації та пропріоцепції. У динаміці відмічалось відновлення контролю над рухами та зменшення ригідності уражених сегментів.

### Клінічний приклад № 1

Пацієнт Д., 28 р. Діагноз: наслідки МВТ (05.2022 р.), посттравматичний артроз лівого плечового суглоба. Виражений больовий синдром. Деформація II–III пальців лівої кисті. Порушення функції кисті. Невропатія серединного нерва зліва (табл. 1). Спостерігалось помірне, але стабільне покращення амплітуди рухів у лівому плечовому суглобі. Згинання збільшилось на 12°, розгинання — на 3°, відведення — на 2°, що свідчить про позитивний вплив терапії на капсульно-зв'язковий та м'язовий апарат плечового пояса. Більш виражені зміни зафіксовано в силових показниках (у %): м'язова сила згиначів зросла на 32,9, розгиначів — на

53,6, привідних — на 21,3, відвідних — на 24,5. Аналогічна позитивна динаміка відзначалася і в променево-зап'ястковому суглобі, де максимальне зростання обсягу рухів спостерігалось під час тильного згинання (+18°).

#### Клінічний приклад № 2

Пацієнт А., 36 р. Діагноз: наслідки вогнепального осколкового поранення (03.10.2024): множинні сліпі осколкові поранення обох верхніх і нижніх кінцівок із наявністю сторонніх тіл (металевих уламків); консолидований перелом II п'ясткової кістки правої китиці зі змішаною контрактурою 2–5 п'ястково-фалангових суглобів правого променево-зап'ясткового суглоба за помірного порушення функцій; посттравматична нейропатія правого променевого та ліктьового нервів, лівого ліктьового нерва з помірними мотосенсорними розладами; зміцнілих післяопераційних рубців шкіри з незначним порушенням функції (табл. 2). Через важкі неврологічні та структурні обмеження покращення обсягу рухів було мінімальне. Водночас динамометричні показники де-

монстрували функціонально значуще покращення. Найбільший приріст сили зафіксовано в згиначах пальців (+45,5 %) та м'язах, які забезпечують променево-зап'ясткове згинання (+25,0 %).

#### Клінічний приклад № 3

Пацієнт Є., 33 р. Діагноз: наслідки вогнепального осколкового поранення (18.03.2024): консолидований перелом обох кісток лівого передпліччя, у середній третині фіксовані металоконструкціями. Комбінована контрактура лівого ліктьового та променево-зап'ясткового суглобів. Післятравматична невропатія ліктьового нерва (табл. 3). У пацієнта спостерігалось покращення як обсягу рухів, так і м'язової сили. У ліктьовому суглобі — зменшення дефіциту розгинання на 6° та збільшення згинання на 5°. У променево-зап'ястковому суглобі суттєво виражене покращення стосувалося долонного згинання (+13°). Динамометрія виявила значне зростання сили: згиначі ліктя збільшили показники на 70,6 %, розгиначі — на 46,3 %. Особливо показовим є подвоєння сили згиначів пальців

Таблиця 1

Функціональне оцінювання в суглобах лівої верхньої кінцівки пацієнта Д.

| Показник   | Початкове значення  | Кінцеве значення  |
|--|---|---|
| Гоніометрія<br>– плечовий суглоб;<br>– променево-зап'ястковий суглоб | розгинання/згинання 47°/0°/135°;<br>відведення/приведення 123°/0°/44°<br>тильне/долонне згинання: 60°/0°/73°;<br>ліктьове/променево-зап'ясткове згинання 23°/0°/52° | розгинання/згинання 50°/0°/147°;<br>відведення/приведення 125°/0°/44°<br>тильне/долонне згинання: 78°/0°/83°;<br>ліктьове/променево-зап'ясткове згинання 25°/0°/54° |
| Динамометрія, кг<br>(плечовий суглоб)                                | згиначі — 14,0; розгиначі — 8,4;<br>привідні — 10,8; відвідні — 11,0  | згиначі — 18,6; розгиначі — 12,9;<br>привідні — 13,1; відвідні — 13,7   |

Таблиця 2

Функціональне оцінювання правого променево-зап'ясткового суглоба пацієнта А.

| Показник  | Початкове значення   | Кінцеве значення   |
|---|--|--|
| Гоніометрія<br>(променево-зап'ястковий суглоб)      | тильне/долонне згинання: 0°/23°/65°;<br>ліктьове/променево-зап'ясткове згинання 0°/10°/18°                                       | тильне/долонне згинання: 0°/17°/65°;<br>ліктьове/променево-зап'ясткове згинання 2°/0°/17°  |
| Динамометрія, кг<br>(променево-зап'ястковий суглоб) | тильне згинання 0,4; долонне згинання 8,3;<br>ліктьове згинання 6,6;<br>променево-зап'ясткове згинання 3,2; згиначі пальців 11,0 | тильне згинання 1,0; долонне згинання 8,6;<br>ліктьове згинання 6,6;<br>променево-зап'ясткове згинання 4,0; згиначі пальців 16,0 |

Таблиця 3

Функціональне оцінювання в суглобах лівої верхньої кінцівки пацієнта Є.

| Показник   | Початкове значення  | Кінцеве значення   |
|--|---|--|
| Гоніометрія<br>– ліктьовий суглоб;<br>– променево-зап'ястковий суглоб      | згинання/розгинання 0°/21°/138°<br>тильне/долонне згинання: 36°/0°/37°;<br>ліктьове/променево-зап'ясткове згинання 21°/0°/21°                                 | згинання/розгинання 0°/15°/143°<br>тильне/долонне згинання: 45°/0°/50°;<br>ліктьове/променево-зап'ясткове згинання 22°/0°/25°                                  |
| Динамометрія, кг<br>– променево-зап'ястковий суглоб;<br>– ліктьовий суглоб | тильне згинання 1,9; долонне згинання 2,7;<br>ліктьове згинання 2,2;<br>променево-зап'ясткове згинання 2,7; згиначі пальців 5,0<br>згиначі 3,4; розгиначі 4,1 | тильне згинання 2,4; долонне згинання 4,3;<br>ліктьове згинання 5,6;<br>променево-зап'ясткове згинання 3,2; згиначі пальців 10,0<br>згиначі 5,8; розгиначі 6,0 |

(+100 %), що має високу клінічну значущість для відновлення функцій самообслуговування.

#### Клінічний приклад № 4

Пацієнт Б., 30 р. Діагноз: наслідки вогнепального осколкового поранення (28.03.2025) лівої кисті: слабкоконсолідований вогнепальний перелом II п'ясткової кістки, псевдоартроз і вогнепальний кістковий дефект III п'ясткової кістки зі зміщенням. Стан після етапного хірургічного лікування лівої кисті: ревізія зони перелому III п'ясткової кістки лівої кисті, монтаж стрижневого АЗФ (19.08.2025), резекція в/3 правої маломілкової кістки, аутопластика маломілковою кісткою дефекту III п'ясткової кістки, демонтаж стрижневого АЗФ, МОС III п'ясткової кістки пластиною та гвинтами (02.09.2025). Комбінована контрактура лівої кисті. Тимчасове порушення функції лівої верхньої кінцівки (табл. 4). Пацієнт демонстрував помірне покращення амплітуди рухів у променево-зап'ястковому суглобі, переважно за рахунок долонного (+8°) та ліктьового згинання (+3°). Водночас зафіксовано виражений приріст м'язової сили, особливо згиначів кисті, показники яких зросли в 3 рази (+200 %). Також суттєво збільшилася сила м'язів, які забезпечують тильне (+59,4 %) та ліктьове згинання (+44,2 %), що вказує на значне покращення функціональної витривалості кисті.

#### Обговорення

Хоча застосування технології VR-реальності більш поширено в реабілітації пацієнтів після інсультів [10, 11]. Проте в останні роки увага приділяється і її використанню як додаткового методу в ортопедичному профілі [12, 13].

Систематичний огляд А. М. AlHossan і співавт. [14] включав спостереження за участю пацієнтів, яким відновили ротаторну манжету плеча, та порівняння реабілітації на основі віртуальної реальності зі стандартною фізичною терапією (6 досліджень (n ≈ 332 хворих) відповідали критеріям включення). Автори не виявили статистично значущої різниці між реабілітацією на основі VR та традиційною щодо зменшення відчутного болю

та покращення функціональних результатів, про які повідомляли пацієнти. Проте вони довели, що VR-терапія привела до значного покращення повного обсягу відведення плеча порівняно з традиційною реабілітацією. Проте показники покращення згинання плеча та зовнішньої ротації суттєво не відрізнялися між групами. Зважаючи на отримані результати, підсумуємо — цифрова реабілітація може покращити дотримання пацієнтами режиму лікування завдяки більшій залученості та доступності, хоча для максимальної результативності може бути необхідна інтеграція періодичної взаємодії з клініцистом. Отже, зазначимо, ці результати підтверджують можливість включення цифрових технологій охорони здоров'я до протоколів післяопераційної реабілітації плеча, адаптованих до індивідуальних потреб пацієнта.

У 2025 році наведено декілька рандомізованих контрольованих досліджень щодо використання віртуальної реальності в реабілітації осіб із ушкодженнями верхньої кінцівки. С. Prahm і співавт. [15] ознайомили в одноцентровому рандомізованому контрольованому дослідженні зі 150 історіями хвороб стаціонарних пацієнтів, які проходили реабілітацію після травматичних ушкоджень кисті з використанням додатку StableHandVR (n = 75 група втручання, n = 75 контрольна). Під час оцінювання враховувалися активний діапазон рухів кисті (ROM), опозиція великого пальця (Карап'ї), сила згиначів кисті, функція верхньої кінцівки (DASH), біль (NRS), якість життя (SF-36), зручність використання (SUS), внутрішня мотивація (IMI) та дотримання тренувань. У підсумку група втручання досягла значно більшого покращення обертання зап'ястя (+27,8° проти +17,3; p < 0,001) та опозиції великого пальця (p = 0,04). Біль під час руху зменшився в обох групах. Пацієнти, які використовували StableHandVR, добровільно перевищували призначений обсяг тренувань на 63 %, повідомляючи про краще сприйняте зусилля (p < 0,001), корисність (p = 0,018) та відмінну зручність використання (SUS = 85,3). Таким чином застосування VR-втручання StableHandVR дозволило

Таблиця 4

Функціональне оцінювання лівого променево-зап'ясткового суглоба пацієнта Б.

| Показник   | Початкове значення   | Кінцеве значення   |
|--|--|--|
| Гоніометрія (променево-зап'ястковий суглоб)      | тильне/долонне згинання: 71°/0°/60°; ліктьове/променево згинання 29°/0°/43°                                  | тильне/долонне згинання: 70°/0°/68°; ліктьове/променево згинання 32°/0°/44°                                      |
| Динамометрія, кг (променево-зап'ястковий суглоб) | тильне згинання 6,9; долонне згинання 11,0; ліктьове згинання 8,6; променево згинання 7,2; згиначі кисті 8,0 | тильне згинання 11,0; долонне згинання 13,8; ліктьове згинання 12,4; променево згинання 11,2; згиначі кисті 24,0 |

покращити відновлення рухових функцій, залученість пацієнта до терапії та дотримання режиму тренувань, що доводить можливість його інтеграції в клінічні реабілітаційні шляхи. S. Kablanoglu та співавт. [16] вивчали вплив рухової терапії на основі віртуальної реальності на біль, відчуття, якість життя, участь в активності та функції верхніх кінцівок у хворих з ураженням периферичних нервів кисті. У дослідженні взяли участь 42 особи ( $n = 21$  група втручання,  $n = 21$  контрольна). Обидві групи пройшли 30 терапевтичних сеансів протягом 6 тижнів, що склалися з 5 процедур на тиждень, кожне тривалістю 60 хвилин. На додаток до своїх звичайних програм реабілітації верхніх кінцівок, учасники досліджуваної групи отримали 30 сеансів рухової терапії на основі віртуальної реальності (6 тижнів, 5 днів на тиждень, по 20 хв). Біль у верхніх кінцівках оцінювали за допомогою візуальної аналогової шкали (ВАШ), сенсорний поріг — за допомогою тесту Semmes Weinstein Monofilament Test у 5-нитковій версії, силу стискання кисті — динамометром Jamar Dynamometer, рівень участі в активності — шкалою Quick Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand та індексу кисті Durooz, функціональність верхніх кінцівок — тестом функції кисті Jebsen Taylor Hand Function Test, а якість життя, пов'язану зі здоров'ям, — 5-вимірною європейською шкалою якості життя (EQ-5D-3L). Виявлено статистично значущі відмінності між показниками ВАШ після тестування груп ( $p = 0,001$ ), Jamar ( $p = 0,004$ ), Quick Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand ( $p = 0,015$ ) та індексу кисті Durooz ( $p < 0,001$ ) балів на користь учасників досліджуваної групи. Використання VR-технологій продемонструвало позитивний вплив щодо зменшення відчуття болю, покращення якості життя, зростання активності та функції верхніх кінцівок у пацієнтів з ушкодженням периферичних нервів кисті.

Серія випадків, яку ми навели, підкреслює, що застосування VR-технологій як додаткового інструмента до традиційної реабілітації сприяє помітному покращенню показників функціонального відновлення рухів верхньої кінцівки. У пацієнтів спостерігається позитивна динаміка не лише у фізичних показниках, а й у психоемоційному стані: вони виявляють високу зацікавленість у процесі, активно співпрацюють із фахівцями та демонструють стабільну мотивацію до регулярних занять. Особливо важливо, що після кількох сеансів із VR-окулярами хворі відзначали підвищення зацікавленості навіть під час виконання стандартних фізичних вправ,

які раніше сприймалися як одноманітні або виснажливі. Слід зазначити, що пояснення системи VR-реальності пацієнту може покращувати очікування від реабілітації [17]. Елементи ігрової взаємодії та можливість бачити власний прогрес у віртуальному середовищі значно підвищують рівень самооцінки та сприяють збереженню позитивного настрою під час лікування [18].

## Висновки

Використання віртуальної реальності в реабілітації пацієнтів із травматичними ушкодженнями верхніх кінцівок після вибухових травм є ефективним допоміжним методом. Результативність зумовлена покращенням активації м'язово-нервових зв'язків, повторюваними руховими стимулами та візуальним зворотним зв'язком, які забезпечує VR-середовище. Технологія підвищує мотивацію, полегшує процес виконання вправ і сприяє швидшому відновленню рухових функцій. Варто зазначити, що дослідження серії випадків є цінним інструментом для генерації знань і формування гіпотез, але не для обґрунтування ефективності лікування в межах доказової медицини. Отже необхідні подальші дослідження для більш детального вивчення ефективності й оптимізації застосування VR-технологій у реабілітаційному процесі. Проте отримані результати свідчать про доцільність подальшого впровадження VR-технологій у клінічну практику реабілітації та розробку спеціалізованих програм із використанням віртуального середовища.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Можна очікувати, що використання VR-окулярів як додаткового методу до стандартних реабілітаційних втручань буде доцільно для підвищення мотивації до виконання вправ, покращення психологічного стану та залученості пацієнтів у процес лікування.

Інформація про фінансування. Жодних вигод у будь-якій формі не було і не буде отримано від виробників медичних пристроїв, які були залучені до нашого дослідження.

Внесок авторів. Притула Н. Ю., Стауде В. А. — обґрунтували доцільність дослідження, розробили його методик, провели відбір пацієнтів; Субота І. А. — провів біомеханічні дослідження та проаналізував результати; Кузнецов О. О. — виконував практичні заняття з пацієнтами; Земляна О. В. — аналіз літератури, написання відповідної частини тексту.

Подяка. Обладнання було надано за державної підтримки Технологічного агентства Чеської республіки та Міністерства промисловості і торгівлі в межах програми TREND.

## Список літератури

1. Azini, P., Estejab, H., Raisali, F., Jafari, N., & Hedayat, D. (2026). Leveraging extended reality technologies to enhance the architectural design of healthcare environments: A Systematic Review. *Applied ergonomics*, 131, 104656. <https://>

- doi.org/10.1016/j.apergo.2025.104656
2. Yeung, A. W. K., Tosevska, A., Klager, E., Eibensteiner, F., Laxar, D., Stoyanov, J., Glisic, M., Zeiner, S., Kulnik, S. T., Crutzen, R., Kimberger, O., Kletecka-Pulker, M., Atanasov, A. G., & Willschke, H. (2021). Virtual and Augmented Reality Applications in Medicine: Analysis of the Scientific Literature. *Journal of medical Internet research*, 23(2), e25499. <https://doi.org/10.2196/25499>
  3. van Doormaal, J. A. M., & van Doormaal, T. P. C. (2024). Augmented Reality in Neurosurgery. *Advances in experimental medicine and biology*, 1462, 351–374. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-64892-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-64892-2_21)
  4. Lim, D. Y., Hwang, D. M., Cho, K. H., Moon, C. W., & Ahn, S. Y. (2025). Correction: A Fully Immersive Virtual Reality Method for Upper Limb Rehabilitation in Spinal Cord Injury. *Annals of rehabilitation medicine*, 49(1), 60. <https://doi.org/10.5535/arm.19181.e>
  5. Tao, G., Garrett, B., Taverner, T., Cordingley, E., & Sun, C. (2021). Immersive virtual reality health games: a narrative review of game design. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 18(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s12984-020-00801-3>
  6. Donati, D., Pinotti, E., Mantovani, M., Casarotti, S., Fini, A., Tedeschi, R., & Caselli, S. (2025). The Role of Immersive Virtual Reality in Upper Limb Rehabilitation for Subacute Stroke: A Review. *Journal of clinical medicine*, 14(6), 1903. <https://doi.org/10.3390/jcm14061903>
  7. Harrington, C. J., Dearden, M. E., McGlone, P., Potter, B. K., Tintle, S. M., & Souza, J. M. (2025). The scope and distribution of upper extremity nerve injuries associated with combat-related extremity limb salvage. *The journal of hand surgery*, 50(3), 384.e1–384.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2023.09.008>
  8. Leal, J. A., Hayda, R., Biliavskiy, V., Klapchuk, Y., Gomez, A., & Whiting, P. (2025). 2024 international trauma care forum guest nation symposium: gunshot injuries. *OTA international: the open access journal of orthopaedic trauma*, 8(6 Suppl), e444. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000444>
  9. Valmaggia, L. R., Latif, L., Kempton, M. J., & Rus-Calafell, M. (2016). Virtual reality in the psychological treatment for mental health problems: An systematic review of recent evidence. *Psychiatry research*, 236, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.01.015>
  10. Zhang, J., Yang, J., Xu, Q., Xiao, Y., Zuo, L., & Cai, E. (2024). Effectiveness of virtual reality-based rehabilitation on the upper extremity motor function of stroke patients: A protocol for systematic review and meta-analysis. *PLoS one*, 19(11), e0313296. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313296>
  11. Xie, Q., Zhang, Q., Zhang, Y., Sheng, B., Wang, X., Luo, J., & Huang, J. (2025). Research on upper limb motor function evaluation and rehabilitation training system of stroke patients based on artificial intelligence: A usability and feasibility study from therapist and patient perspectives. *Digital health*, 11, 20552076251386665. <https://doi.org/10.1177/20552076251386665>
  12. Lattré, T., Decramer, A., Vanhaecke, J., Van der Linden, D., & Goubau, J. (2024). Immersive virtual reality in orthopedic hand therapy. *Hand surgery & rehabilitation*, 43(4), 101750. <https://doi.org/10.1016/j.hansur.2024.101750>
  13. Jha, C. K., Shukla, Y., Mukherjee, R., Rathva, P., Joshi, M., & Jain, D. (2024). A glove-based virtual hand rehabilitation system for patients with post-traumatic hand injuries. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 71(7), 2033–2041. <https://doi.org/10.1109/TBME.2024.3360888>
  14. AlHossan, A. M., Jahhaf, R. H., Alharbi, A. S., Alqahtani, L. M., Alshahrani, R. M., Alowaidah, L. T., Alshangiti, H. Y., & Degen, R. M. (2025). Digital and virtual reality-based rehabilitation versus conventional therapy for rotator cuff tears and post-repair recovery: a systematic review and meta-analysis. *JSES reviews, reports, and techniques*, 6(1), 100584. <https://doi.org/10.1016/j.xrtr.2025.09.003>
  15. Prahm, C., Bressler, M., Gohlke, T., Hönning, A., Harhaus-Wähner, L., Daigeler, A., & Kolbenschlag, J. (2025). Immersive virtual reality for functional hand and finger rehabilitation: results from a randomized controlled trial in 150 patients after traumatic hand injuries. *NPJ digital medicine*, 8(1), 792. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-02206-9>
  16. Kablanoğlu, S., & Sade, S. I. (2025). Effectiveness of virtual reality-based movement therapy in peripheral nerve injuries of the hand. *Journal of hand therapy: official journal of the American Society of Hand Therapists*, 38(2), 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2025.04.010>
  17. Slatman, S., van Lankveld, W., Staal, J. B., van Goor, H., Ostelo, R., Westendorp, J., & Knoop, J. (2025). The effect of physiotherapists' explanation of therapeutic virtual reality on treatment expectations in healthy people and people with chronic musculoskeletal pain: Two online RCTs. *PEC innovation*, 8, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.pecinn.2025.100443>
  18. Tao, G., Garrett, B., Taverner, T., Cordingley, E., & Sun, C. (2021). Immersive virtual reality health games: a narrative review of game design. *Journal of neuroengineering and reha-*

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>11.01.2026 | Отримано після рецензування<br>16.02.2026 | Прийнято до друку<br>23.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## USE OF VIRTUAL REALITY EYEGLASSES AS AN ADDITIONAL METHOD IN REHABILITATION AFTER UPPER LIMB INJURY

N. Prytula<sup>1</sup>, V. Staude<sup>1,2</sup>, O. Zemlyana<sup>3</sup>, I. Subbota<sup>1</sup>, O. Kuznetsov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>2</sup> Stepan Gzhytskyi Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies

<sup>3</sup> Kharkiv National Medical University, Ukraine

\* Nataliia Prytula: natpryt@ukr.net

\* Volodymyr Staude, MD, DMSci: staudevl@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2959-9208>

\* Olga Zemlyana, MD, PhD: earthhaz2022@gmail.com

\* Igor Subbota: igorsublabor@gmail.com

\* Oleksandr Kuznetsov: sash.kuznetso@gmail.com

## КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА НОТАТКИ З ПРАКТИКИ

УДК 616-006.33-003.8-089.2:[615.277.3546.17-14]](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026191-95>

## Cryosurgical Management of Extraskeletal Myxoid Chondrosarcoma: A Case Report with Long-term Functional Outcomes

Mohammad Faza Anggito Widagdo<sup>1,2</sup>, Muhammad Hardian Basuki<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Soetomo General Academic Hospital, Surabaya, Jawa. Indonesia<sup>2</sup> Faculty of Medicine, Airlangga University, Surabaya, Jawa. Indonesia

**Introduction.** Extraskeletal myxoid chondrosarcoma (EMC) is a rare soft-tissue sarcoma with a substantial risk of local recurrence and distant metastasis. Liquid-nitrogen cryosurgery may serve as an adjunct during limb-salvage procedures, including bone recycling. **Objective.** To report a juxta-articular EMC of the knee treated with wide excision, liquid-nitrogen cryosurgery of resected bone segments, and reconstruction with total knee replacement (TKR), and to present functional follow-up outcomes. **Methods.** A wide excision was performed via a medial parapatellar approach with osteotomy of the patella and proximal tibia. Resected bone was treated with liquid nitrogen (15 minutes) followed by stepwise thawing, then reattached; reconstruction included TKR and internal fixation. Follow-up assessed union, recurrence/metastasis (MRI/CT), and function (MSTS). **Results.** Surgical margins were negative. Union was achieved within 1 year. No local recurrence or progression of lung lesions was detected during 1–3 years of follow-up. Function was preserved (ROM 0–90°) with MSTS 90 % (1 year), 97 % (2 years), and 93 % (3 years), without reported complications. **Conclusions.** Cryosurgery with bone recycling can be a useful adjunct for limb-salvage surgery in knee EMC, enabling reconstruction with favorable functional outcomes in early to mid-term follow-up.

Позаскелетна міксоїдна хондросаркома (extraskeletal myxoid chondrosarcoma, EMC) є рідкісною саркомою м'яких тканин, для якої характерні часті місцеві рецидиви та метастазування. Кріохірургія з використанням рідкого азоту потенційно може бути корисним ад'ювантом під час органозбережних втручань. **Мета.** Описати клінічний випадок EMC колінного суглоба з ураженням кісткових структур, пролікований широком висіченням, кріообробкою резектованих сегментів і реконструкцією з ендопротезуванням, і навести функціональні результати спостереження. **Методи.** Проведено широке видалення пухлини через медіальний парapatеллярний доступ з остеотомією проксимальної великогомілкової кістки та наколінка. Резектовані кісткові фрагменти обробляли рідким азотом (15 хв) із послідовним відтаванням; виконано реімплантацію фрагментів, тотальне ендопротезування коліна та внутрішню фіксацію. Оцінювали зрощення, рецидив/метастази (МРТ, КТ) та функцію (MSTS). **Результати.** Резекційні краї були негативні. Зрощення досягнуто протягом року. Ознак місцевого рецидиву чи прогресування метастатичних легеневих вогнищ упродовж 1–3 років не виявлено. Функція збережена: ROM 0–90°, MSTS 90 % (1 рік), 97 % (2 роки), 93 % (3 роки). Ускладнень не відзначено. **Висновки.** Кріохірургія з реконструкцією кістки може бути ефективним ад'ювантом під час органозбережної хірургії за EMC навколо коліна з добрими ранніми та середньостроковими функціональними результатами. **Ключові слова.** Кріохірургія; позаскелетна міксоїдна хондросаркома; клінічний випадок; рідкий азот; рециклінг кістки; тотальне ендопротезування колінного суглоба; функціональний результат.

**Keywords.** Cryosurgery; extraskeletal myxoid chondrosarcoma; case report; liquid nitrogen; bone recycling; total knee replacement; functional outcome

© Mohammad Faza Anggito Widagdo, Muhammad Hardian Basuki, 2026

## Introduction

Extraskeletal myxoid chondrosarcoma (EMC) is a rare and generally indolent soft-tissue sarcoma that nevertheless demonstrates a substantial risk of local recurrence and distant metastasis [1]. Although historically grouped with cartilaginous neoplasms because of its chondroid-like morphology, EMC lacks true cartilaginous differentiation and is classified by the World Health Organization as a tumor of uncertain differentiation [4]. Clinically, EMC may behave as a low-grade malignancy but is associated with reported local recurrence rates of approximately 30–50 % and distant metastasis rates up to 50 %, most commonly to the lungs [3, 4]. Wide local excision with negative margins remains the cornerstone of treatment; adjuvant radiotherapy may be considered for large tumors, although EMC is often described as relatively radioresistant [5]. Cryosurgery using liquid nitrogen has been proposed as an adjunctive method for local tumor control and for recycling resected bone segments during limb-salvage reconstruction [6, 7].

**Purpose.** To report a juxta-articular EMC of the knee treated with wide excision, liquid-nitrogen cryosurgery of resected bone segments (bone recycling), and reconstruction with total knee replace-

ment, and to describe early to mid-term oncologic and functional outcomes.

## Materials and methods

Expert opinion for regarding the possibility of publishing the material of 01.26.2026.

**Study design:** Case report.

**Patient and setting:** A 37-year-old woman presented with a slowly enlarging anterior mass of the left knee for approximately five years, with intermittent pain and activity-related worsening.

**Diagnostic work-up:** Plain radiographs demonstrated a soft-tissue mass. Contrast-enhanced MRI showed a large septated solid–cystic intra-articular lesion ( $82.1 \times 47.5 \times 103.1$  mm) involving the femoro-tibial and patellofemoral compartments, extending to subcutaneous fat and invading the patella and proximal tibia, while major neurovascular structures were spared. High-resolution thoracic CT demonstrated multiple bilateral pulmonary nodules suspicious for metastasis. Core needle biopsy with immunohistochemistry supported the diagnosis of extraskeletal myxoid chondrosarcoma.

Laboratory tests showed mildly elevated erythrocyte sedimentation rate and C-reactive protein; hepatitis B and HIV serologies were non-reactive.



Fig. 1. Clinical Picture of both lower leg and Right Knee from anterior (a), and X-Ray findings of the left knee lateral (b)



Fig. 2. MRI of The Left Knee With Contrast

**Surgical technique:** Through a medial parapatellar approach, wide local excision was performed with osteotomy of the proximal tibia and patella. Resected bone segments were treated with liquid nitrogen for 15 minutes, followed by sequential thawing in 0.9 % NaCl solution and at room temperature. Reconstruction included reattachment of the recycled bone segments, total knee replacement, and internal fixation of the proximal tibia and patella. Perioperative prophylactic antibiotics were administered.

**Follow-up and outcomes:** Follow-up occurred every 6 months during the first year and annually thereafter. Outcomes included margin status, radiologic union, evidence of recurrence/metastasis (contrast MRI of the extremity and thoracic CT), knee range of motion, extensor mechanism function, and Musculoskeletal Tumor Society (MSTS) score.

**Ethics and consent:** Written informed consent for publication and images was obtained from the patient.

## Results

Postoperative histopathology demonstrated negative resection margins. During follow-up at 1, 2, and 3 years, contrast MRI of the operated extremity showed no local recurrence, and thoracic CT showed no progression of pulmonary lesions. Radiographic union of the recycled bone segments was achieved at 1 year. Functional outcomes were favorable: knee range of motion was 0–90 degrees without extension lag, and MSTS scores were 90 % (1 year), 97 % (2 years), and 93 % (3 years). No perioperative or late complications were recorded.

## Discussion

EMC is an ultra-rare soft-tissue sarcoma with an indolent course but a meaningful propensity for local recurrence and pulmonary metastasis [1, 3, 4]. In cases

where the tumor is juxta-articular and involves critical bony and soft-tissue structures, achieving local control while preserving function can be challenging. Liquid-nitrogen cryosurgery is an adjunctive technique that may enhance local tumor control and enable recycling of resected bone segments for reconstruction [6, 7]. Cryoablation causes cell death through direct cellular injury, osmotic shifts during freezing-thawing, and intracellular ice crystal formation, which togeth-

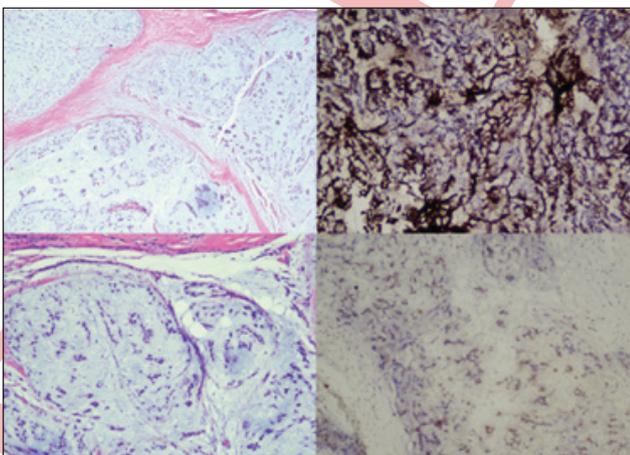


Fig. 3. Immunohistology Examination of The Core Biopsy

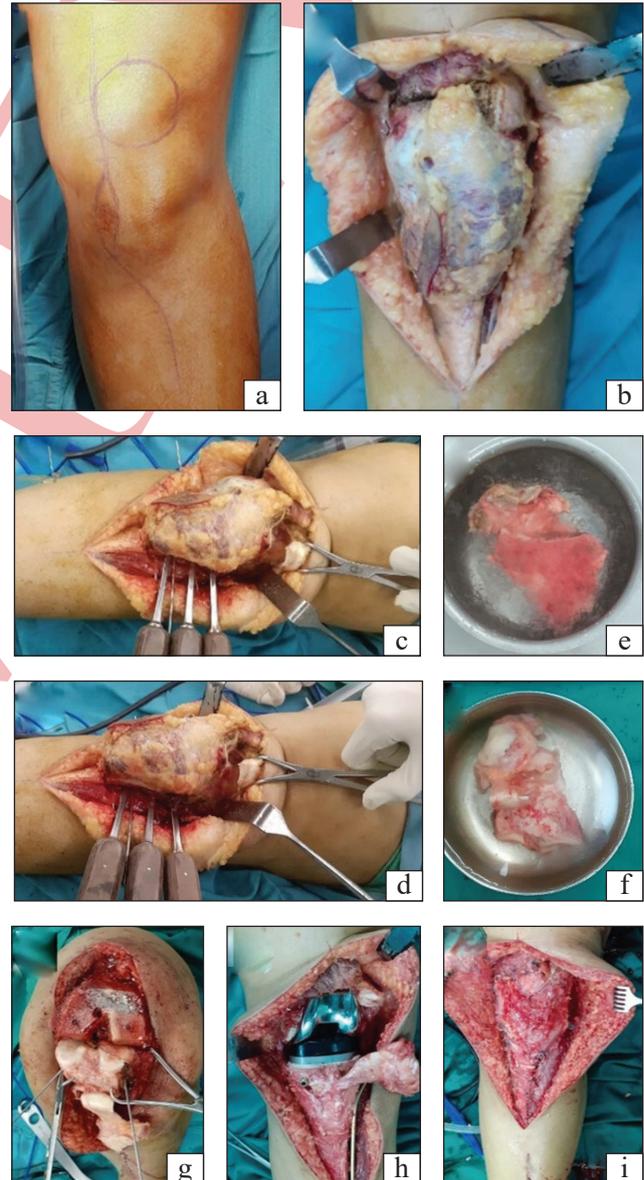


Fig. 4. Surgical Procedure. Incision according to the medial parapatellar approach (a); Tissue dissection and tumor margins identification (b); Tumor tissue resection as far as proximal osteotomy of the tibia and patella (c, d); The resected tibia and patella immersed in liquid nitrogen (e) for 15 minutes and thawing process in 0.9 % NaCl solution for 10 minutes (f); Reattachment of tissue after cryosurgery resection (g), total knee replacement and internal fixation of the proximal tibia and patella (h), and soft tissue closure (i)

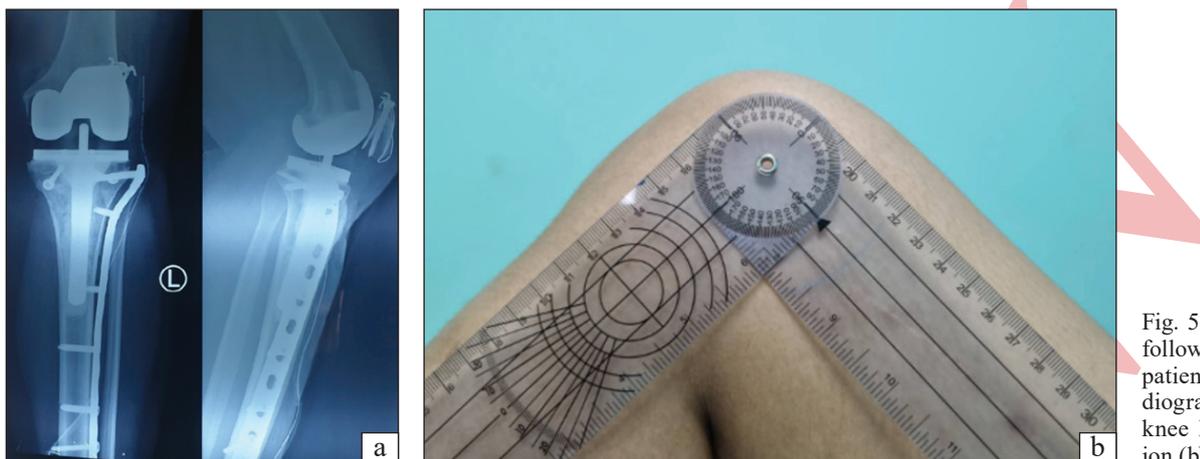


Fig. 5. Two-year follow-up of the patient. Knee radiograph (a) and knee ROM flexion (b)

Patient timeline

| Date       | Event   |
|------------|---|
| 05/01/2022 | Initial presentation with knee mass                   |
| 12/01/2022 | Imaging (MRI, CT) supporting EMC                      |
| 15/01/2022 | Wide excision, cryosurgery (liquid nitrogen), and TKR |
| 15/01/2023 | 1-year follow-up (MSTS 90 %)                          |
| 17/01/2024 | 2-year follow-up (MSTS 97 %)                          |
| 10/01/2025 | 3-year follow-up (MSTS 93 %)                          |

er can disrupt membranes and organelles [6]. In our case, cryosurgery facilitated limb salvage combined with total knee replacement and internal fixation, with negative margins, radiographic union at 1 year, and favorable functional outcomes up to 3 years. The absence of local recurrence on serial MRI and stable pulmonary findings on thoracic CT are encouraging, although oncologic conclusions are limited by the single-case design and the inherent variability in the natural history of EMC. Limitations include the single-patient nature of the report and limited generalizability; longer follow-up and larger series are required to better define indications, oncologic safety, complication profiles, and functional outcomes of cryosurgery-assisted reconstruction in EMC.

## Conclusions

Cryosurgery with bone recycling may be a useful adjunct for limb-salvage management of juxta-artic-

Table 1

ular EMC of the knee, enabling reconstruction with favorable functional outcomes and no observed local recurrence during early to mid-term follow-up.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest related to this work.

## References

- Chiusole, B., Le Cesne, A., Rastrelli, M., Maruzzo, M., Lorenzi, M., Cappellesso, R., et al. (2020). Extraskeletal myxoid chondrosarcoma: Clinical and molecular characteristics and outcomes of patients treated at two institutions. *Frontiers in Oncology*, 10, 828. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00828>
- Fice, M. P., Lee, L., Kottamasu, P., Almajnooni, A., Cohn, M. R., Gusho, C. A., et al. (2022). Extraskeletal myxoid chondrosarcoma: A case series and review of the literature. *Rare Tumors*, 14, 20363613221079754. <https://doi.org/10.1177/20363613221079754>
- Brown, J. M., Rakoczy, K., & Pretell-Mazzini, J. (2022). Extraskeletal myxoid chondrosarcoma: Clinical features and overall survival. *Cancer Treatment and Research Communications*, 31, 100530. <https://doi.org/10.1016/j.ctarc.2022.100530>
- Hisaoaka, M., & Hashimoto, H. (2005). Extraskeletal myxoid chondrosarcoma: Updated clinicopathological and molecular genetic characteristics. *Pathology International*, 55(8), 453-463. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1827.2005.01853.x>
- Stacchiotti, S., Baldi, G. G., Morosi, C., Gronchi, A., & Maestro, R. (2020). Extraskeletal myxoid chondrosarcoma: State of the art and current research on biology and clinical management. *Cancers*, 12(9), 2703. <https://doi.org/10.3390/cancers12092703>
- Yiu, W.-K., Basco, M. T., Aruny, J. E., Cheng, S. W. K., & Sumpio, B. E. (2007). Cryosurgery: A review. *International Journal of Angiology*, 16(1), 1-6. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1278235>
- Tsuchiya, H., Wan, S. L., Sakayama, K., Yamamoto, N., Nishida, H., & Tomita, K. (2005). Reconstruction using an autograft containing tumour treated by liquid nitrogen. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 87(2), 218-225. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B2.15325>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>26.01.2026 | Отримано після рецензування<br>10.02.2026 | Прийнято до друку<br>12.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## CRYOSURGICAL MANAGEMENT OF EXTRASKELETAL MYXOID CHONDROSARCOMA: A CASE REPORT WITH LONG-TERM FUNCTIONAL OUTCOMES

Mohammad Faza Anggito Widagdo<sup>1,2</sup>, Muhammad Hardian Basuki<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Soetomo General Academic Hospital, Surabaya, Jawa. Indonesia

<sup>2</sup> Faculty of Medicine, Airlangga University, Surabaya, Jawa. Indonesia

\* Mohammad Faza Anggito Widagdo, MD: fazawidagdo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4960-1611>

\* Muhammad Hardian Basuki, MD: basukimh@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2845-965X>

PREVIEW

УДК 616.728.2-089.22:546.41.135

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026196-100>

## Клінічне спостереження використання кісткового цементу на основі трикальційфосфату, посиленого голчастими кристалами гідроксилапатиту

В. А. Філіпенко<sup>1</sup>, К. С. Іванчук<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Інститут ортопедії та травматології Національної академії медичних наук України, Київ

The study and implementation of biomaterials for reconstructive orthopedic interventions remain a key focus of modern biomaterials science. Calcium phosphate ceramics are notable for their high biocompatibility, osteoconductive properties, and biodegradability. Developing materials capable of adapting to the shape of bone defects is particularly relevant. Objective. To evaluate the effectiveness of a metastable tricalcium phosphate cement reinforced with needle-shaped hydroxyapatite crystals for filling cavity defects in the acetabulum during total hip arthroplasty. Methods. A clinical case of a 52-year-old patient with stage IV coxarthrosis and acetabular cystic defects is presented. Following marginal cyst resection, the cement was applied to the cavity prior to implantation of an uncemented acetabular cup. Postoperative follow-up was performed on days 7 and 30 using radiography and multislice CT. Results. The postoperative course was uneventful. On day 7, the cavity was fully filled with cement; by day 30, multiple bone trabeculae had formed within the material, with density similar to native bone. Prosthesis fixation remained stable, without cement migration or aseptic demarcation. Conclusions. The use of calcium phosphate cement with a paste-like consistency reinforced with needle-shaped hydroxyapatite crystals allows complete defect filling, promotes bone-cement complex formation, and provides stable prosthesis fixation in the early postoperative period. Further studies with longer follow-up are required to assess long-term outcomes and material resorption. Keywords. Hip joint, bone defects, bone cement.

Дослідження біоматеріалів для реконструктивно-відновних втручань в ортопедії залишається актуальним напрямом сучасного біоматеріалознавства. Особливу увагу привертають кальцій-фосфатні кераміки, які мають високу біосумісність, остеокондуктивні властивості та здатність до біодеградації. Актуальною є розробка матеріалів, здатних адаптуватися до форми порожнинних дефектів кісток. Мета. Оцінити ефективність метастабільного цементу на основі трикальційфосфату, посиленого голчастими кристалами гідроксилапатиту, для заповнення порожнинних дефектів кульшової западини під час тотального ендопротезування. Методи. Наведено клінічний приклад 52-річного пацієнта з коксартрозом IV ст. і кістами, локалізованими в кульшовій западині. Після пристінкової резекції кіст цемент пломбували в порожнину перед установкою безцементної чашки ендопротеза. Динамічне спостереження проводили на 7-му та 30-ту добу післяопераційного періоду зі застосуванням рентгенографії та МСКТ. Результати. Післяопераційний період проходив без ускладнень. На 7-му добу порожнина була заповнена цементом, на 30-ту добу візуалізували численні кісткові балки, що проростали в матеріал, із щільністю, подібною до кісткової тканини. Фіксація ендопротеза залишалася стабільною, ознак міграції цементу чи асептичного розмежування не зафіксовано. Висновки. Використання кальцій-фосфатного цементу з пастоподібною консистенцією та голчастими кристалами гідроксилапатиту забезпечує повноцінне заповнення дефекту, сприяє формуванню кістково-цементного комплексу та створює умови для стабільної фіксації компонентів ендопротеза в ранньому післяопераційному періоді. Подальші дослідження з тривалішим спостереженням дозволять оцінити віддалені результати та резорбцію матеріалу.

**Ключові слова.** Кульшовий суглоб, дефекти кісткової тканини, кістковий цемент

© Філіпенко В. А., Іванчук К. С., 2026

## Вступ

Дослідження та впровадження в практику біоматеріалів для реконструктивно-відновних втручань в ортопедичній галузі залишається одним із ключових напрямів сучасного біоматеріалознавства [1, 2]. Особливу увагу привертають кальцій-фосфатні кераміки, які характеризуються високою біосумісністю, хімічною спорідненістю з кістковою тканиною, здатністю до біодеградації, а також вираженими остеокондуктивними й остеоінтегративними властивостями. З огляду на різноманітність конфігурацій і розмірів порожнинних дефектів кісток, які виникають унаслідок захворювання чи під час виконання операцій, актуальним є пошук матеріалів, здатних адаптуватися до форми утвореного дефекту [3, 4]. Водночас остаточно не визначено оптимальний склад керамічних матеріалів, який би забезпечував необхідні механічні характеристики без втрати біорезорбтивних властивостей. У цій роботі наведено клінічний приклад використання кальцій-фосфатного біоматеріалу, розробленого на фізичному факультеті Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна [5], для заміщення порожнинного дефекту кульшової западини під час ендопротезування кульшового суглоба. Клінічну апробацію здійснено після ретельного експериментального дослідження на щурах, результати яких свідчать про перспективність застосування цього біоматеріалу в ортопедичній практиці [26].

Мета: дослідити можливість використання метастабільного цементу на основі трикальційфосфату, посиленого голками гідроксилапатиту як матеріалу для заповнення порожнинних дефектів кісткової тканини.

## Матеріал і методи

Дослідження схвалено локальним комітетом із біоетики (засідання при ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» від 03.08.2023 р. № 234).

Пацієнт В., чоловік 52 р., звернувся зі скаргами на біль, дискомфорт під час ходи й у спокої, кульгавість, обмеження обсягу рухів у кульшовому суглобі. Хворіє не менше ніж 5 років, лікувався консервативно з нетривалим поліпшенням. Загострення больового синдрому відбувалося 2–3 рази на рік. Під час клініко-рентгенологічного обстеження виявлено ознаки коксартрозу IV ст. Зафіксовано масивну кісту верхньо-пере-

дної стінки кульшової западини (рис. 1). Супутня патологія відсутня.

На прицільній рентгенограмі правого кульшового суглоба в прямій та боковій проекціях у субхондральній зоні, переважно даху кульшової западини та верхнього відділу головки стегнової кістки, відмічається кістоподібна перебудова (у субхондральній зоні максимальний діаметр кісти даху кульшової западини — до 13 мм, головки стегнової кістки — до 8 мм; на рівні деяких кіст замикальної пластинки — значно потоншені). Діагностовано рентген-ознаки правобічного коксартрозу IV ст. із вираженою кістоподібною перебудовою.

Сплановано операцію з тотального ендопротезування кульшового суглоба безцементною конструкцією. Наявність вказаних дефектів кісткової тканини може впливати на вторинну стабілізацію чашки ендопротеза, яка виникає за рахунок вrostання кісткових балочок у пори зовнішньої поверхні. Для досягнення повноцінної вторинної стабільності чашки вирішено, що доцільним є виконання пристінкової резекції кісти верхньо-передньої стінки кульшової западини та заміщення утвореного дефекту.

Матеріалом для заміщення дефекту кульшової западини обрано синтетичну, кальцій-фосфатну біокераміку — гідроксилапатит ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ) і трикальційфосфат (ТКФ ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )) саме через свою безпечність та ефективність [7]. Кістковий цемент на основі ТКФ посилений голчастими кристалами ГА.

Дослідженням залежності змін компресійної міцності цементу від кількості голкоподібних кристалів гідроксилапатит виявлено, що вона підвищується пропорційно їхній кількості.

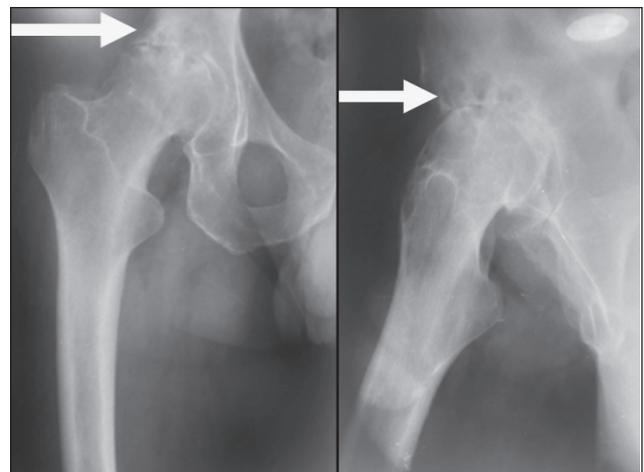


Рис. 1. Фотовідбитки рентгенограми правого кульшового суглоба (відмічено кісти кульшової западини).

За 4 % м/м досягає максимальних показників у середньому значенні 5,5 МПа [25]. Час повноцінного застигання КФЦ, зазвичай, становить кілька десятків хвилин. Як рідку фазу для приготування цементу застосовували 2,5 % розчин гідрофосфату натрію ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), який додавали в порцію порошку  $\alpha'$ -ТКФ, що забезпечувало співвідношення тверда/рідка фаза = 1/1,25. Безпосередньо перед використанням у рідку фазу додавали 4 % м/м голкоподібних кристалів гідроксилапатиту, які отримували шляхом гідротермального синтезу за оригінальною технологією ( $T = 235^\circ\text{C}$ ,  $p = 20$  атм,  $t = 1$  год.) [8].

Далі масу ретельно перемішували шпателем до отримання однорідної пасти та витримували її 3–5 хв [5]. Через 2 хв після початку змішування — утворюється пастоподібної консистенції суміш, яка з плином часу твердіє, набуваючи форми. Отриманою пастою пломбували кістковий дефект, ущільнюючи нові порції шпателем, до повного заповнення.

Після обробки кульшової западини фрезами до потрібного розміру було візуалізовано кістку верхньо-передньої стінки (рис. 2). За допомогою ложки виконано пристінкову резекцію, розміри утвореної порожнини  $2 \times 2,5 \times 3$  см.

Після ретельного гемостазу підготовлено порцію цементу, достатню для заповнення дефекту: використано 15 г цементу та відповідну кількість рідини, посиленої голками ГА. Після заповнення кістковим цементом порожнини встановлено чашку й інші компоненти ендопротеза.

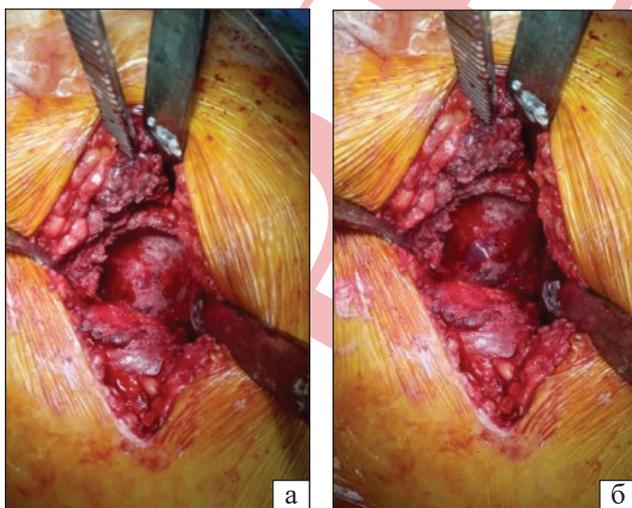


Рис. 2. Інтраопераційне фото. Кіста верхньої стінки кульшової западини: а) до і б) після заповнення

## Результати та їх обговорення

У післяопераційному періоді ускладнень не виявлено. Пацієнт обстежувався в динаміці на 7-му та 30-ту добу після оперативного втручання.

Медикаментозне забезпечення в післяопераційному періоді було за стандартною схемою ведення пацієнтів після первинного ендопротезування: здійснено профілактику тромбоемболічних ускладнень і антибіотикотерапію інфекційних ускладнень; перші 3 доби перев'язки виконувалися щоденно. На 2-гу добу видалено дренаж. Післяопераційна рана загоїлася первинним натягом. Режим активізації пацієнта проходив без особливостей: хворого навчено ходи наступної доби після втручання з дозованим навантаженням (40 % від маси тіла), використовуючи милиці як додаткову опору. Виконувалася лікувальна фізкультура для м'язів нижніх кінцівок та програма курсу післяопераційного відновлення з реабілітологом.

7-ма доба після операції. Спостерігалися рентген-ознаки стану після ендопротезування правого кульшового суглоба; кіста в латеральному відділі субхондральної зони даху кульшової западини заповнена пластичним матеріалом (кальцій-фосфатним цементом) (рис. 3).

30-та доба після операції. Зафіксовано кісткові розростання по краю кульшової западини завдовжки до 8 мм, субхондральна зона дещо склерозована. У цій зоні латерального відділу даху кульшової западини виявлено поодинокую кістку діаметром 13 мм, яка заповнена матеріалом, у ділянці якого визначаються численні кісткові балки, за щільністю тотожні кістковій тканині (рис. 4).

Під час порівняння з рентген-даними на 7-му добу після операції помічено, що між замикальною пластинкою кульшової западини та зовнішньою поверхнею чаші ендопротеза утворилися численні кісткові балки.

Також на 30-ту добу виконано мультиспіральну комп'ютерну томографію (МСКТ) правого кульшового суглоба (рис. 5). За її результатами визначили, що по краю кульшової западини утворилися кісткові розростання завдовжки до 9 мм. Субхондральна зона цієї локалізації нерівномірно склерозована, кіста заповнена щільним матеріалом (вірогідно цементом). В одній із кіст між її стінками та речовиною частково простежуються численні кісткові балки, за рахунок яких межа між кісткою та матеріалом чітко не диференціюється [9].



Рис. 3. Фотовідбитки рентгенограми суглоба на 7-му добу після ендпротезування та пластики кісткового дефекту

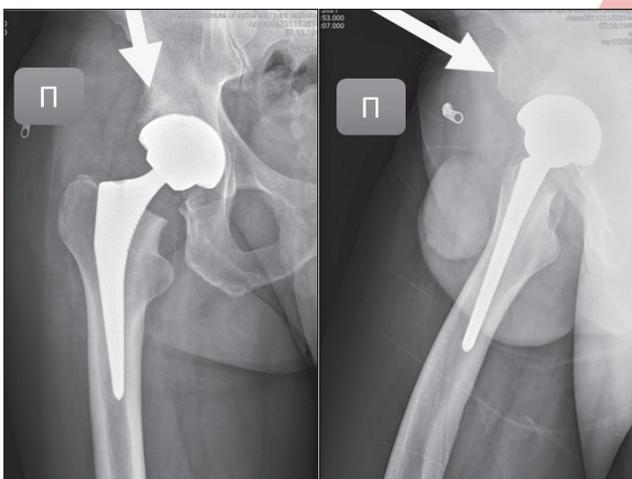


Рис. 4. Фотовідбитки рентгенограми правого кульшового суглоба на 30-ту добу після ендпротезування та пластики кісткового дефекту

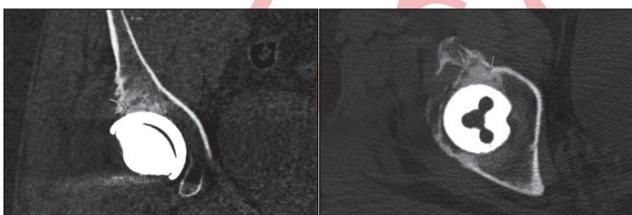


Рис. 5. Мультиспіральна комп'ютерна томограма правого кульшового суглоба

Отримані клінічні та рентгенологічні дані свідчать про доцільність і перспективність використання кісткового цементу на основі ТКФ, посиленого голчастими кристалами ГА, для заміщення порожнинних дефектів кульшової западини за тотального ендпротезування кульшового суглоба. Особливістю наведеного клінічного прикладу є наявність значного дефекту неправильної

форми в зоні даху кульшової западини, що потенційно могло негативно впливати на вторинну стабільність безцементної чашки ендпротеза.

Застосування кальцій-фосфатного цементу з пастоподібною консистенцією дозволило досягти повноцінного заповнення дефекту складної геометрії та забезпечити щільний контакт матеріалу зі стінками кісткової порожнини. Це створило сприятливі умови для подальшого проростання кісткових балок у товщу імплантованої речовини. Виявлені на 30-ту добу післяопераційного періоду рентгенологічні та МСКТ-ознаки формування кісткових трабекул у зоні цементного заповнення узгоджуються з даними експериментальних досліджень щодо біорезорбції та остеоінтеграції матеріалів на основі ТКФ та ГА [10].

Посилення цементу голчастими кристалами ГА в концентрації 4 % м/м дозволило підвищити його компресійну міцність до рівня, достатнього для використання в зоні навантаження, не порушуючи водночас біологічну активність матеріалу. Відомо, що саме співвідношення механічної стабільності та контрольованої резорбції є критичним чинником для успішної реконструкції кісткових дефектів у ділянці кульшового суглоба [11–14]. У наведеному клінічному прикладі не зафіксовано ознак міграції цементу, формування зони асептичного розмежування або порушення фіксації ендпротеза в ранньому післяопераційному періоді.

Отримані результати також свідчать про те, що використання цього біоматеріалу може сприяти покращенню умов для вторинної стабільності чашки ендпротеза за рахунок відновлення цілісності субхондральної кістки та формування кістково-цементного комплексу, здатного до поступової перебудови [15–16]. Подальші дослідження з більшим числом клінічних спостережень і тривалішим періодом динамічного контролю дозволять об'єктивніше оцінити довгострокову ефективність, темпи резорбції та вплив армованого кальцій-фосфатного цементу на виживаність компонентів ендпротеза кульшового суглоба.

## Висновок

Післяопераційні рентгенологічні та МСКТ-дані свідчать про позитивну динаміку заміщення порожнинного кісткового дефекту кістковим цементом на основі трикальційфосфату, посиленого голчастими кристалами гідроксилапатиту, з ознаками остеоінтеграції. Пастоподібна консистенція, остеокондуктивні та біосумісні властивості цементу забезпечили повноцінне заповнення

дефекту складної конфігурації та створили умови для стабільної фіксації компонентів ендопротеза в ранньому післяопераційному періоді. Обмежений термін спостереження не дозволив оцінити віддалені результати, що обґрунтовує необхідність подальших клінічних досліджень.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Оптимізація результатів хірургічного втручання у пацієнтів із порожнинними дефектами кісткової тканини.

Інформація про фінансування. Філіпенко В. А. — проведення хірургічного втручання, постановка мети та завдань дослідження, редагування рукопису; Іванчук К. С. — аналіз первинного матеріалу, проведення експериментальних досліджень, написання рукопису.

## Список літератури

- Filipenko, V., Vorontsov, P., Valeriia, H., Zorik, A., Samoylova, K., Slota, O., & Mezentsev, V. (2021). Allografting in the case of revision hip arthroplasty at aseptic loosening of the acetabular component. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (4), 5–11. <https://doi.org/10.15674/0030-5987202045-11>
- Li, J. J., Dunstan, C. R., Entezari, A., Li, Q., Steck, R., Saifzadeh, S., Sadeghpour, A., Field, J. R., Akey, A., Vielreicher, M., Friedrich, O., Roohani-Esfahani, S., & Zreiqat, H. (2019). A novel bone substitute with high bioactivity, strength, and porosity for repairing large and load-bearing bone defects. *Advanced healthcare materials*, 8(13), e1900641. <https://doi.org/10.1002/adhm.201900641>
- Baldwin, P., Li, D. J., Auston, D. A., Mir, H. S., Yoon, R. S., & Koval, K. J. (2019). Autograft, allograft, and bone graft substitutes: Clinical evidence and indications for use in orthopaedic trauma surgery. *Journal of orthopaedic trauma*, 33(4), 203–213. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001420>
- Jiang, J., Wang, J., Fan, P., Zhao, Z., Deng, H., Li, J., Wang, Y., & Wang, Y. (2025). Biomaterial-based strategies for bone cement: Modulating the bone microenvironment and promoting regeneration. *Journal of nanobiotechnology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12951-025-03363-5>
- Goncharenko, A., Zyman, Z., & Epple, M. (2020). Structure–property relationships in a reinforced calcium phosphate cement based on metastable  $\alpha'$ -tricalcium phosphate. In book of abstracts: joint polish-german crystallographic meeting.
- Poplavskaya, K., & Ashukina, N. (2023). Bone regeneration after implantation of calcium phosphate cements based on metastable tricalcium phosphate (in vivo experimental study). *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 41–48. <https://doi.org/10.15674/0030-59872023141-48>
- Chun, C. H., Kim, J. W., Kim, S. H., Kim, B. G., Chun, K. C., & Kim, K. M. (2014). Clinical and radiological results of femoral head structural allograft for severe bone defects in revision TKA: A minimum 8-year follow-up. *The knee*, 21(2), 420–423. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2013.04.012>
- Zyman, Z., Goncharenko, A., Khavroniuk, O., & Rokhmistrov, D. (2020). Crystallization of metastable and stable phases from hydrolyzed amorphous calcium phosphates with a Ca/P ratio of 1:1. *Journal of crystal growth*, 535, 125547. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2020.125547>
- Kumar, V., Naik, G. N., Tuteja, S., Bhasin, M. T., Chattopadhyay, D., Chowdhury, S., & Kashwani, R. (2025). Evaluation of radiographic and clinical outcomes in the use of bone substitutes in periapical surgery and periodontal regeneration. *Journal of pharmacy and bioallied sciences*, 17(Suppl. 3), S2218–S2220. [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_1058\\_25](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1058_25)
- Czechowska, J. P., Dorner-Reisel, A., & Zima, A. (2024). Hybrid bone substitute containing tricalcium phosphate and silver-modified hydroxyapatite–methylcellulose granules. *Journal of functional biomaterials*, 15(7), 196. <https://doi.org/10.3390/jfb15070196>
- Cerbu, C., Ursache, S., Botis, M. F., & Hadăr, A. (2021). Simulation of hybrid carbon-aramid composite materials based on mechanical characterization by digital image correlation method. *Polymers*, 13(23), 4184. <https://doi.org/10.3390/polym13234184>
- Dorozhkin, S. (2013). Calcium orthophosphate-based bio-ceramics. *Materials*, 6(9), 3840–3942. <https://doi.org/10.3390/ma6093840>
- Dziadek, M., Zima, A., Cichoń, E., Czechowska, J., & Ślósarczyk, A. (2020). Biomicroconcretes based on hybrid HAP/CTS granules,  $\alpha$ -TCP, and pectins as novel injectable bone substitutes. *Materials letters*, 265, 127457. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127457>
- Elgali, I., Omar, O., Dahlin, C., & Thomsen, P. (2017). Guided bone regeneration: Materials and biological mechanisms revisited. *European journal of oral sciences*, 125(5), 315–337. <https://doi.org/10.1111/eos.12364>
- Gu, X., Li, Y., Qi, C., & Cai, K. (2022). Biodegradable magnesium phosphates in biomedical applications. *Journal of materials chemistry B*, 10(13), 2097–2112. <https://doi.org/10.1039/d1tb02836g>
- Hou, X., Zhang, L., Zhou, Z., Luo, X., Wang, T., Zhao, X., Lu, B., Chen, F., & Zheng, L. (2022). Calcium phosphate-based biomaterials for bone repair. *Journal of functional biomaterials*, 13(4), 187. <https://doi.org/10.3390/jfb13040187>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>12.01.2026 | Отримано після рецензування<br>12.02.2026 | Прийнято до друку<br>23.02.2026 |
|---|---|---------------------------------|

## CLINICAL CASE OF USING TRICALCIUM PHOSPHATE-BASED BONE CEMENT REINFORCED WITH HYDROXYAPATITE

V. A. Filipenko<sup>1</sup>, K. S. Ivanchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

<sup>2</sup> SI «National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine», Kyiv

\* Volodymyr Filipenko, MD, DMSci, Prof. in Orthopaedic and Traumatology: [filipenko1957@gmail.com](mailto:filipenko1957@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5698-2726>

\* Karolina Ivanchuk, MD, PhD: <https://orcid.org/0000-0002-9838-1651>

УДК 616.711-001.36-036.87(048.8)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720261101-108>

## Фактори ризику рецидиву грижі міжхребцевого диска поперекового відділу хребта після первинної ендоскопічної трансфорамінальної дискотомії. Повідомлення 2

В. К. Піонтковський<sup>1</sup>, В. А. Колесніченко<sup>2</sup>, М. Б. Гольбаум<sup>3</sup><sup>1</sup> ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В.Т. Зайцева НАМН України»<sup>2</sup> Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. Україна<sup>3</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

Recurrence of lumbar disc herniation (LDH) after primary endoscopic transforaminal discectomy (PETD) is diagnosed in 3.8–15 % of cases. Objective. To study preoperative radiographic and MRI signs that potentiate LDH recurrence after PETD. Methods The study material consisted of articles identifying radiographic and MRI risk factors for recurrent LDH after PETD between 2015 and 2025 in the PubMed, Google Scholar, and Medline databases. The study method was a systematic review of relevant literature sources. Results. The level of LDH does not influence the incidence of rLDH, although some authors consider the presence of a disc herniation in the upper lumbar spine as a risk factor for recurrence. rLDH is significantly more frequently recorded with primary disc protrusion; in cases of migrated disc herniation, the risk of rLDH significantly increases with large intracanal displacement of disc material extending beyond the inferior margin of the superior or inferior vertebral pedicle. The use of PETD for resection of central disc herniations most often results in recurrent LDH (compared to foraminal, extraforaminal, and migratory) due to technical errors. A study of disc height index dynamics in the pre- and postoperative periods and the degree of Modic type endplate degeneration showed that the less severe the degenerative processes in the prolapsed intervertebral disc, the higher the risk of herniation recurrence after PETD. Conclusions. Recurrence disc herniation after PETD is significantly more common in cases of primary protrusion and significantly increases with large annular defects ( $\geq 6$  mm). rLDH is significantly more common in discs with moderate degenerative changes, with a disc height index of approximately  $0.37 \pm 0.09$  and Modic type 1. Keywords. Primary endoscopic transforaminal discectomy, recurrent lumbar disc herniation, risk factors, lumbar segment morphometry, degenerative changes in lumbar intervertebral disc.

Рецидив грижі міжхребцевого диска (ГМД) поперекового відділу хребта (ПВХ) після первинної ендоскопічної трансфорамінальної дискотомії (ПЕТД) діагностується в 3,8–15 % випадків. Мета. Вивчити на передопераційному етапі рентгенологічні та МРТ-ознаки, які потенціюють рецидив ГМД ПВХ після ПЕТД. Методи. Проаналізовано статті, які містять визначення рентгенологічних і МРТ-факторів ризику рецидиву грижі міжхребцевого диска (рГМД) ПВХ після ПЕТД, за період 2015–2025 р. у базах даних PubMed, Google Scholar, Medline. Здійснено систематичний огляд релевантних джерел літератури. Результати. Рівень грижі міжхребцевого диска ПВХ не впливає на частоту рГМД, хоча окремі автори розглядають її наявність у верхньоперековому відділі як ризик рецидивування. Значущо частіше рГМД реєструється в разі первинної протрузії диска; у разі грижі, яка мігрувала, ризик рГМД достовірно зростає за умов значного інтраканального зміщення матеріалу диска, який виходить за межі нижнього краю верхньої або нижньої ніжки хребця. Використання ПЕТД для резекції центральних гриж дисків найчастіше призводить до рГМД через технічні помилки. Вивчення динаміки індексу висоти диска в перед- та післяопераційному періодах та ступеня дегенерації замикальних пластинок диска за типом Modic показало, що чим менш виражені дегенеративні процеси, тим вище ризик рецидиву грижі після ПЕТД. Висновки. рГМД після ПЕТД достовірно частіше реєструється в разі первинної протрузії і достовірно зростає за умов значних дефектів фіброзного кільця. Значимо частіше ГМД рецидивує в дисках із помірно вираженими дегенеративними змінами з індексом висоти диска приблизно  $0,37 \pm 0,09$  та типом Modic 1.

**Ключові слова.** Первинна ендоскопічна трансфорамінальна дискотомія, рецидив грижі міжхребцевого диска поперекового відділу хребта, фактори ризику, морфометрія поперекового сегмента, дегенеративні зміни міжхребцевих дисків поперекового відділу хребта

## Вступ

Перкутанна трансфорамінальна ендоскопічна дискектомія (ПЕТД) є одним із розповсюджених й успішних сучасних методів малоінвазивного хірургічного лікування гриж міжхребцевих дисків (ГМД) поперекового відділу хребта (ПВХ). Перевагами ПЕТД є мінімальна травматичність, менша кровотеча, чисте операційне поле [1], можливість збереження заднього зв'язкового комплексу й інших біомеханічних структур [2], проведення хірургічного втручання в низці випадків під місцевою анестезією [3], відносно низькі хірургічні витрати [4] й високий рівень задоволеності пацієнтів [5].

Незважаючи на постійний розвиток та удосконалення методики ендоскопічної дискектомії ГМД [6, 7], є повідомлення про несприятливі результати лікування [8–11]. Одним із найчастіших ускладнень ПЕТД є рецидивуюча грижа міжхребцевого диска (рГМД), частота утворення якої в літературі варіює в достатньо широких межах: 3,8–7,4 % [12], 1,4–11,4 % [13], 5–15 % [14]. Вона найчастіша причина повторних операцій, загальна частота яких досягає 5,2–19 % і зростає зі збільшенням тривалості спостереження [13, 15], при цьому реоперації в більш ранні терміни частіше проводились у пацієнтів старшого віку [16]. Повторне хірургічне втручання, хоч і залишається ефективним, нерідко пов'язане з гіршим функціональним результатом, потенціює необхідність наступної реоперації, часто ускладнюється формуванням епідуральних рубців [17, 18], що підвищує ризик розривів твердої мозкової оболонки або ушкодження нервів [19, 20]. Крім того, видалення задньої структури хребця може збільшити ризик розвитку сегментарної нестабільності [21]. І повторна операція, і клінічні симптоми, пов'язані з рГМД, мають негативний психологічний вплив [22] та суттєвий економічний тиск на пацієнтів [23]. Тому виявлення факторів ризику рГМД після ПЕТД має важливе клінічне значення для розробки хірургічних протоколів, коректного підбору хворих і підвищення ефективності ендоскопічної трансфорамінальної дискектомії.

Фактори ризику рГМД після первинної трансфорамінальної дискектомії наведені в значній кількості літературних джерел нерідко зі суперечливими результатами [22, 24–28]. У нашому попередньому огляді літератури щодо клінічних факторів ризику рГМД найбільш вірогідними виявилися вік > 50 років, індекс маси тіла > 25 кг/м<sup>2</sup>,

термін первинної дискектомії > 8 тижнів із моменту клінічної маніфестації [29].

Мета: вивчити рентгенологічні та МРТ-ознаки, які потенціують рецидивуючу грижу міжхребцевого диска поперекового відділу хребта після перкутанної трансфорамінальної ендоскопічної дискектомії.

## Матеріал і методи

Матеріал дослідження — фахові статті, що містять визначення рентгенологічних і МРТ-ознак, які розглядаються як фактори ризику рецидиву грижі міжхребцевого диска поперекового відділу хребта після первинної ПЕТД, за період 2015–2024 р. у базах даних PubMed, Google Scholar, Medline з використанням медичних предметних рубрик і ключових слів «рецидивуюча грижа міжхребцевого диска поперекового відділу хребта», «малоінвазивні хірургічні втручання на поперековому відділі хребта», «перкутанна ендоскопічна поперекова дискектомія», «перкутанна ендоскопічна трансфорамінальна дискектомія», «повторна операція», «повторна дискектомія», «рентгенологічні фактори ризику рецидиву грижі міжхребцевого диска поперекового відділу хребта», «морфометрія поперекових хребтових сегментів», «МРТ-ознаки дегенерації міжхребцевих дисків», «recurrent lumbar disc herniation», «minimally invasive lumbar spine surgery», «percutaneous endoscopic lumbar discectomy», «percutaneous endoscopic transforaminal discectomy», «re-operation», «rediscectomy», «radiological risk factor for recurrent lumbar disc herniation», «morphometry of lumbar vertebral segments», «MRI signs of intervertebral disc degeneration».

Рецидив грижі міжхребцевого диска був визначений як підтверджена методами візуалізації (рентгенографія/КТ/МРТ) повторна симптоматична ГМД на рівні первинної дискектомії з радикулалгією, іпсилатеральною до передопераційної, що приводить до повторної операції [12].

Критерії включення: статті щодо результатів визначення рентгенологічних і МРТ-факторів ризику рецидиву моносегментарної ГМД ПВХ після первинної ПЕТД. Критерії виключення: публікації про наслідки відкритого хірургічного лікування ГМД ПВХ, відкрита й ендоскопічна дискектомія полісегментарних і повторно рецидивуючих ГМД ПВХ.

Метод дослідження – систематичний огляд релевантних джерел літератури.

## Результати та їх обговорення

### Рівень грижі міжхребцевого диска

У літературі превалює думка щодо відсутності зв'язку між рівнем грижі міжхребцевого диска ПВХ і частотою її рецидивування [22, 30–32]. Більш інтенсивну доопераційну радикулалгію та достатньо тривалий (до 1 міс.) післяопераційний больовий синдром у пацієнтів із екстрафорамінальними та форамінальними грижами L<sub>IV</sub>–L<sub>V</sub> дисків пов'язують із компресією або ірітацією ганглія задніх корінців спинномозкових нервів речовиною дисків [30, 33]. Окремі автори розглядають локалізацію грижі міжхребцевого диска у верхньопоперековому відділі як фактор ризику рГМД [34].

### Тип грижі міжхребцевого диска

Рецидив ГМД достовірно частіше реєструється в разі первинної протрузії матеріала диска, коли через широку шийку грижі дефект фіброзного кільця (ФК) має ширший розмір [35]. Первинна екструзія міжхребцевого диска, як транслігаментарна, так і сублігаментарна, не потенціює ризик рГМД [36]. У випадках грижі, що мігрувала, цей ризик достовірно зростає за умов значного інтраканального зміщення матеріалу диска, який виходить за межі нижнього краю верхньої або нижньої ніжки хребця [37–39].

У разі використання традиційного трансфорамінального доступу повна резекція матеріалу грижі диска, яка мігрувала, утруднена через технічні складнощі захвату дистального фрагмента диска [40]. Останнім часом у таких випадках пропонуються модифіковані оперативні техніки зі застосуванням прицільної пункції та фораміотомії [38], супрапедикулярного ретрокорпорального доступу [41], мобільної техніки «зовні-всередину» [42]. Використання більшості з цих методик є доцільнішим за ПЕТД мігруючих гриж нижньопоперекових міжхребцевих дисків [38, 43]. Ендоскопічна дискектомія ГМД у верхніх поперекових сегментах частіше виконується через інтерламинарний доступ [39, 44].

Ризик рГМД достовірно зростає в разі значних дефектів ФК ( $\geq 6$  мм) [45, 46] з ірітацією нервового корінця з клінічно значущою післяопераційною радикулалгією [47]. Крім того, через дефекти фіброзного кільця можливий контакт запальних медіаторів із корінцями спинномозкових нервів із розвитком хімічного радикуліту [48].

Для запобігання повторного випадання матеріалу диска виконується агресивна дискектомія з видаленням якомога більшої частини драглис-

того ядра [49]. Недоліками цієї методики є швидше зменшення висоти міжхребцевого диска та прискорення його дегенерації [48, 50].

### Локалізація грижі міжхребцевого диска

Рецидиви ГМД ПВХ після ПЕТД найчастіше реєструються після резекції центральних гриж дисків, основна причина цього ускладнення — технічні помилки [51, 52]. У минулому наявність центральної грижі диска була протипоказом до застосування ПЕТД через розташування робочої зони близько до задньої серединної лінії з положенням ендоскопа під кутом через складну візуальну диференціацію м'яких тканин [51], що могло призводити до ушкодження корінця спинномозкового нерва, а також неповного видалення матеріалу грижі диска [42, 51]. Надалі з удосконаленням техніки ПЕТД резекція центральної грижі диска виконувалася з використанням форамінопластики. У цьому випадку завдяки новосформованому розширеному міжхребцевому отвору досягається повноцінний огляд центральної грижі диска, прилеглого скомпрометованого нервового, а також, за необхідності, і контралатерального корінця спинномозкового нерва за принципом «односторонній доступ, двостороння декомпресія» [51]. Наявність ГМД іншої локалізації (форамінальних, екстрафорамінальних), а також мігруючих гриж не впливає на частоту рецидивування після ПЕТД [38, 43, 53, 54].

### Висота міжхребцевого диска

Висота міжхребцевого диска (ВМД) визначається через абсолютний та відносний показники. Абсолютний — це середня арифметична величина висоти диска в передньому та задньому відділах, або у передньому, середньому та задньому [55]. Як предиктор рГМД розглядається динаміка ВМД у перед- та післяопераційному періодах, яка зменшується приблизно на 0,8 мм після видалення граму тканини диска під час дискектомії [56], і чим нижче ВМД у найближчому післяопераційному періоді (порівняно з показником до хірургічного втручання), тим агресивнішою була дискектомія [55]. Частота рГМД після обмеженої дискектомії у 2 рази перевищувала кількість рецидивів після агресивної дискектомії [57, 58]. Слід зазначити, що оптимальний обсяг грижі диска, який необхідно видалити для досягнення найкращих клінічних результатів, залишається неясним [55]. Зниження ВМД у динаміці [29, 47] супроводжується інклінацією, а згодом і гіперплазією суглобових відростків та їх фасеток, що у віддаленому післяопераційному періоді

може спричинити розвиток клінічно значущого спондилоартрозу [59].

Відносний показник ВМД — це індекс висоти міжхребцевого диска (ІВМД), який обчислюється як співвідношення висоти диска до висоти або ширини вищерозташованого хребця [55]. Незалежно від методики обчислення, вищі значення ІВМД на рівні хірургічного втручання достовірно корелюють зі збільшенням частоти рГМД після ПЕТД [25, 35, 36, 55]. Так, через 48 міс. після операції ІВМД у середньому складав  $0,37 \pm 0,09$  у групі з рецидивом грижі диска та  $0,29 \pm 0,09$  у пацієнтів без рГМД [25];  $0,35 \pm 0,007$  та  $0,26 \pm 0,002$  відповідно [55]. Іншими словами, чим менш виражені дегенеративні процеси в міжхребцевому диску, який пролабував, тим вище ризик рецидиву грижі після ПЕТД.

Вищі значення ІВМД відповідають помірним дегенеративним змінам у міжхребцевому диску. Гіпоінтенсивний сигнал від драглистого ядра диска, що пролабував, на T2-зв'язаному зображенні під час МРТ [60] свідчить про збереження певної кількості гідрофільних глікозаміногліканів в екстрацелюлярному матриксі драглистого ядра [61] й неушкодженого колагену переважно в передній частині фіброзного кільця [62]. Структурно-функціональні властивості міжхребцевого диска частково збережені; його тканини здатні підтримувати певний онкотичний тиск [63]. Проте наявність структурного дефекту диска призводить до зниження його механічної жорсткості з появою надмірної сегментарної рухливості. Дискетомія в умовах такого «латентно нестабільного сегмента [55]» («сегмента з мікронестабільністю [64]») спричинює прогресування дегенерації диска з розвитком стійкого хронічного болювого синдрому [56], рГМД [25, 35, 36, 55], потенціює нестабільність оперованого сегмента [65, 66].

Структурні зміни у тканинах диска з грижею на пізній стадії дегенерації характеризуються збільшенням кількості фіброзно-хрящових і гіпертрофічних клітин у матриксі драглистого ядра, значною втратою об'єму диска, зростанням загальної товщини пластинок і деградацією шарів фіброзного кільця [67], що візуалізується МРТ-картиною «сірого/чорного диска» [68]. Фібротизація міжхребцевого диска, яка формується, супроводжується поступовою втратою рухової функції хребтового сегмента. Рестабілізація сегмента відбувається за умов колапсу диска зі зниженням його висоти більш ніж на 50 %, що корелює з ІВМД приблизно 0,15 [55]. Отже, зв'язок

між ІВМД і рГМД зумовлений взаємозалежністю процесів структурної деградації тканин диска та їхніх біомеханічних наслідків.

МРТ-ознаки дегенерації міжхребцевих дисків

Ступінь дегенерації міжхребцевих дисків визначається на МРТ-сканах за типом Modic [69] та класифікацією Pfirrmann [70]. Модифікації за типом Modic віддзеркалюють зміни замикальних пластин (ЗП) та кісткового мозку тіл хребців, суміжних із міжхребцевим диском, які визначаються на основі перебудови інтенсивності сигналу на T1- та T2-зв'язаних томограмах і корелюють із гістологічними даними [36] та дегенерацією диска [71]. Зміни типу Modic 1 пов'язані з розшаруванням, мікротріщинами ЗП і набряком кісткового мозку; типу 2 — із жировою дистрофією кісткового мозку [69]; за 3 — зі склерозом ЗП і субхондральної кістки [72]. У літературі висловлюється практично одноставна думка про достовірний зв'язок вищої частоти рГМД у диску з типом Modic 1 [12, 22, 27, 36, 37, 73, 74], який зумовлений ушкодженням ЗП та набряком кісткового мозку, що спричинює збільшення внутрішньокісткового тиску в тілі хребця [75] з відповідним підвищенням онкотичного тиску в диску, що призводить до переміщення речовини драглистого ядра крізь тріщини фіброзного кільця й ЗП, потенціуючи формування рГМД [76].

Класифікація МРТ-оцінки ступеня дегенерації міжхребцевого диска за Pfirrmann на сагітальних T2-зв'язаних томограмах містить наступні якісні показники: інтенсивність сигналу від драглистого ядра та гомогенність його структури; диференціація зображень драглистого ядра й фіброзного кільця; висота міжхребцевого диска. Розрізняють 5 стадій дегенерації диска, де I — це МРТ-зображення диска в нормі, V — пізня стадія дегенерації з втратою структури та колапсом диска [70]. Взаємозв'язок частоти рГМД після ПЕТД зі ступенем дегенерації диска за класифікацією Pfirrmann у літературі оцінюється неоднозначно. Одні автори не виявили значущої кореляції між цими показниками [36, 43], інші встановили достовірний зв'язок за умов дегенерації диска за Pfirrmann  $\geq IV$  [22, 77, 78], III [75] або  $\geq III$  стадії [79]. Іншими словами, у більшості повідомлень частота рГМД за класифікацією Pfirrmann достовірно більша в диску з пізньою стадією дегенерації, тоді як висота диска, ІВМД та тип Modic корелюють із частотою рГМД у разі помірної дегенерації його тканин. Такі суперечливі результати можна пояснити недостатньою дискретністю критеріїв Pfirrmann [80, 81] та їх

неповною відповідністю морфологічним, зокрема інволютивним ознакам [82, 83], що зазначали і самі автори цієї класифікації [70]. J. F. Griffith зі співавт. розробили модифіковану класифікацію Pfirrmann, яка містить 8 ступенів і базується на інтерпретації сагітальних T2-зважених томограм за трьома основними критеріями: інтенсивність сигналу від драглистого ядра та внутрішніх волокон ФК (1–3 ступені); диференціація зображень внутрішніх і зовнішніх волокон ФК на задньому краю диска (4, 5 ступені); зниження висоти диска (6–8 ступені) [80]. Хоча класифікація Griffith [80] дегенерації міжхребцевого диска більш деталізована, вона не набула широкої розповсюженості.

## Висновки

Рецидив грижі міжхребцевого диска після ПЕТД достовірно частіше реєструється за первинної протрузії і зростає в разі значних дефектів фіброзного кільця ( $\geq 6$  мм). Рецидиви гриж дисків здебільшого спостерігаються після резекції центральних гриж дисків через технічні помилки. Рівень грижі диска не впливає на частоту рецидиву.

Достовірно частіше рГМД після ПЕТД формуються в дисках із помірно вираженими дегенеративними змінами з індексом висоти приблизно  $0,37 \pm 0,09$  та типом Modic 1. Дані щодо взаємозв'язку частоти рГМД та ступеня дегенерації диска за класифікацією Pfirrmann суперечливі.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. На сьогодні є актуальним аналіз літератури щодо впливу рентгенологічних, у тому числі рентгенометричних показників на частоту рецидивних гриж міжхребцевих дисків поперекового відділу хребта.

Інформація про фінансування. Жодної вигоди у будь-якій формі не було і не буде отримано від комерційної сторони, пов'язаної прямо чи опосередковано з предметом цієї статті.

Внесок авторів. Піонтовський В. К. — концепція і дизайн, аналіз отриманих даних; Колесніченко В. А. — концепція і дизайн, літературний пошук; Гольбаум М. Б. — аналіз отриманих даних, обробка матеріалів, редагування тексту.

## Список літератури

- Jarebi, M., Awaf, A., Lefranc, M., & Peltier, J. (2021). A matched comparison of outcomes between percutaneous endoscopic lumbar discectomy and open lumbar microdiscectomy for the treatment of lumbar disc herniation: A 2-year retrospective cohort study. *The spine journal*, 21(1), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2020.07.005>
- Jang, J. N., Song, Y., Kim, J. W., & Kim, Y. U. (2023). Comparison of ligamentum flavum thickness between central and lateral lesions in a patient with central lumbar spinal canal stenosis. *Medicine*, 102(33), e34873. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000034873>
- Mooney, J., Laskay, N., Erickson, N., Salehani, A., Mahavadi, A., Ilyas, A., Mainali, B., Nowak, B., & Godzik, J. (2022). General vs local anesthesia for percutaneous endoscopic lumbar Discectomy (PELD): A systematic review and meta-analysis. *Global spine journal*, 13(6), 1671–1688. <https://doi.org/10.1177/21925682221147868>
- Droeghaag, R., Schuermans, V. N., Hermans, S. M., Smeets, A. Y., Caelters, I. J., Hilgsmann, M., Evers, S., Van Hemert, W. L., & Van Santbrink, H. (2023). Methodology of economic evaluations in spine surgery: A systematic review and qualitative assessment. *BMJ open*, 13(3), e067871. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-067871>
- Dandurand, C., Mashayekhi, M. S., McIntosh, G., Singh, S., Paquet, J., Chaudhry, H., Abraham, E., Bailey, C. S., Weber, M. H., Johnson, M. G., Nataraj, A., Attabib, N., Kelly, A., Hall, H., Rampersaud, Y. R., Manson, N., Phan, P., Thomas, K., Fisher, C., ... Dea, N. (2023). Cost consequence analysis of waiting for lumbar disc herniation surgery. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31029-5>
- Abdulla Hasan, G., & Hayder Qatran, M. (2023). Endoscopic spine surgery: The next golden standard technique in spinal surgeries. *Frontiers in spinal neurosurgery*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001469>
- Khandge, A. V., Sharma, S. B., & Kim, J. (2021). The evolution of Transforaminal endoscopic spine surgery. *World neurosurgery*, 145, 643–656. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.08.096>
- Chen, Z., Zhang, L., Dong, J., Xie, P., Liu, B., Chen, R., Li, S., Liu, Z., Yang, B., Feng, F., He, L., Yang, Y., Pang, M., & Rong, L. (2022). Percutaneous Transforaminal endoscopic Discectomy versus Microendoscopic Discectomy for lumbar disk Herniation: Five-year results of a randomized controlled trial. *Spine*, 48(2), 79–88. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004468>
- Ju, C. I., & Lee, S. M. (2023). Complications and management of endoscopic spinal surgery. *Neurospine*, 20(1), 56–77. <https://doi.org/10.14245/ns.2346226.113>
- Yang, C., Chen, C., Lin, M. H., Huang, W., Lee, M., Kim, J., & Chen, K. (2022). Complications of full-endoscopic lumbar Discectomy versus open lumbar Microdiscectomy: A systematic review and meta-analysis. *World neurosurgery*, 168, 333–348. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.06.023>
- Chen, Q., Zhang, Z., Liu, B., & Liu, S. (2020). Evaluation of percutaneous Transforaminal endoscopic Discectomy in the treatment of lumbar disc Herniation: A retrospective study. *Orthopaedic surgery*, 13(2), 599–607. <https://doi.org/10.1111/os.12839>
- Zileli, M., Oertel, J., Sharif, S., & Zygorakis, C. (2024). Lumbar disc herniation: Prevention and treatment of recurrence: WFNS spine committee recommendations. *World neurosurgery*: X, 22, 100275. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2024.100275>
- Hassan Kadri, Mohamad Shehadeh Agha, Raed Abouharb, Rostom Mackieh, Ahmad Atto, & Tim Kadri. (2024). Is spinal fusion the preferred treatment for recurrent lumbar disc herniation of the lumbar spine? *World journal of biology pharmacy and health sciences*, 18(3), 303–308. <https://doi.org/10.30574/wjbphs.2024.18.3.0247>
- Gupta, A., Chhabra, H. S., Nagarjuna, D., & Arora, M. (2020). Comparison of functional outcomes between lumbar Interbody fusion surgery and Discectomy in massive lumbar disc Herniation: A retrospective analysis. *Global spine journal*, 11(5), 690–696. <https://doi.org/10.1177/2192568220921829>
- Yoshihara, H., Chatterjee, D., Paulino, C. B., & Errico, T. J. (2016). Revision surgery for “Real” recurrent lumbar disk Herniation. *Clinical spine surgery: a spine publication*, 29(3), 111–118. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000365>
- Siccoli, A., Schröder, M. L., & Staartjes, V. E. (2020). Association of age with incidence and timing of recurrence after microdiscectomy for lumbar disc herniation. *European spine journal*, 30(4), 893–898. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06692-1>

17. Hoang, R., Song, J., Tiao, J., Trent, S., Ngan, A., Hoang, T., Kim, J. S., Cho, S. K., Hecht, A. C., Essig, D., Virk, S., & Katz, A. D. (2024). Comparison of postoperative complications and outcomes following primary versus revision discectomy: A national database analysis. *Journal of Craniovertebral Junction and Spine*, 15(3), 303–307. [https://doi.org/10.4103/jcvjs.jcvjs\\_97\\_24](https://doi.org/10.4103/jcvjs.jcvjs_97_24)
18. Aihara, T., Kōjima, A., Urushibara, M., Endo, K., Sawaji, Y., Suzuki, H., Nishimura, H., Murata, K., Konishi, T., & Yamamoto, K. (2022). Long-term reoperation rates and causes for reoperations following lumbar microendoscopic discectomy and decompression: 10-year follow-up. *Journal of clinical neuroscience*, 95, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.11.015>
19. Luo, L., Zhao, C., Li, P., Liu, L., Zhou, Q., Luo, F., & Liang, L. (2021). Posterior dynamic stabilization with limited Rediscectomy for recurrent lumbar disc Herniation. *Pain research and management*, 2021, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2021/1288246>
20. Heo, D. H., Ha, J. S., Lee, D. C., Kim, H. S., & Chung, H. J. (2020). Repair of incidental Durotomy using Sutureless Non-penetrating clips via Biptoral endoscopic surgery. *Global spine journal*, 12(3), 452–457. <https://doi.org/10.1177/2192568220956606>
21. Arif, S., Brady, Z., Enchev, Y., & Peev, N. (2020). Is fusion the most suitable treatment option for recurrent lumbar disc herniation? A systematic review. *Neurological research*, 42(12), 1034–1042. <https://doi.org/10.1080/01616412.2020.1787661>
22. Zhao, J., Zeng, L., Zhao, S., Liang, G., Sha, B., Fu, H., Yang, W., Liu, J., & Zeng, Y. (2024). Associations of recurrent lumbar disc herniation after percutaneous endoscopic lumbar discectomy with age, body mass index, modic change, disc degeneration and sacral slope: A quantitative review. *Experimental and therapeutic medicine*, 27(5). <https://doi.org/10.3892/etm.2024.12483>
23. Droeghaag, R., Schuermans, V. N., Hermans, S. M., Smeets, A. Y., Caelers, I. J., Hiligsmann, M., Van Hemert, W. L., Evers, S., & Van Santbrink, H. (2021). Evidence-based recommendations for economic evaluations in spine surgery: Study protocol for a Delphi consensus. *BMJ open*, 11(12), e052988. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-052988>
24. Park, C. H. (2019). Risk factors for early recurrence After Transforaminal endoscopic lumbar Disc Decompression. *Pain physician*, 2(22.2), E133–E138. <https://doi.org/10.36076/ppj/2019.22.e133>
25. Kim, K., Lee, D., Cho, D., Sung, J., & Kim, Y. (2015). Pre-operative risk factors for recurrent lumbar disk Herniation in L5–S1. *Journal of spinal disorders & techniques*, 28(10), E571–E577. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000041>
26. Kandregula, S., & Guthikonda, B. (2021). Minimally invasive TLIF. *Neurology India*, 69(5), 1141. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.329539>
27. Abdallah, A., & Güler Abdallah, B. (2022). Factors associated with the recurrence of lumbar disk herniation: non-biomechanical–radiological and intraoperative factors. *Neurological research*, 45(1), 11–27. <https://doi.org/10.1080/01616412.2022.2116525>
28. Patgaonkar, P., Goyal, V., Agrawal, U., Marathe, N., & Patel, V. (2022). Impact of body weight, height, and obesity on selection of skin entry point for Transforaminal endoscopic lumbar Discectomy. *Asian journal of neurosurgery*, 17(02), 262–267. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1751005>
29. Kolesnichenko, V., Piontkovskiy, V., Holbaum, M., Chernyshov, O., Palkin, O., & Palkin, B. (2025). Risk factors of recurrence lumbar intervertebral disc herniation after primary endoscopic transforaminal discectomy. Part 1 (Literature review). *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (2), 92–98. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025292-98>
30. Kang, M., Hwang, J., Park, S., Yang, J., You, K., Hong, S., Cho, S. K., & Park, H. (2024). Comparison of biportal endoscopic and microscopic tubular paraspinous approach for foraminal and extraforaminal lumbar disc herniation. *Journal of neurosurgery: spine*, 41(4), 473–482. <https://doi.org/10.3171/2024.4.spine23707>
31. Echt, M., Holland, R., Mowrey, W., Cezayirli, P., De la Garza Ramos, R., Hamad, M., Gelfand, Y., Longo, M., Kinon, M. D., Yanamadala, V., Chaudhary, S., Cho, S. K., & Yassari, R. (2020). Surgical outcomes for upper lumbar disc Herniations: A systematic review and meta-analysis. *Global spine journal*, 11(5), 802–813. <https://doi.org/10.1177/2192568220941815>
32. Kapetanakis, S., Gkantsinikoudis, N., & Apostolakis, S. (2022). Technical challenges and surgical outcomes of percutaneous transforaminal endoscopic discectomy in patients with upper lumbar disc herniation: A prospective clinical study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 143(8), 4613–4623. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04725-6>
33. Kim, H. S., Kim, J. Y., Wu, P. H., & Jang, I. (2021). Effect of dorsal root ganglion retraction in endoscopic lumbar decompressive surgery for foraminal pathology: A retrospective cohort study of interlaminar contralateral endoscopic lumbar Foraminotomy and Discectomy versus Transforaminal endoscopic lumbar Foraminotomy and Discectomy. *World neurosurgery*, 148, e101–e114. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.12.176>
34. Tao, H. (2018). Prevalence of recurrent Herniation Following Percutaneous endoscopic lumbar Discectomy: A meta-analysis. *Pain physician*, 1(21;1), 337–350. <https://doi.org/10.36076/ppj.2018.4.337>
35. Li, Z., Yang, H., Liu, M., Lu, M., Chu, J., Hou, S., & Hou, T. (2018). Clinical characteristics and risk factors of recurrent lumbar disk Herniation. *Spine*, 43(21), 1463–1469. <https://doi.org/10.1097/brs.00000000000002655>
36. Brooks, M., Dower, A., Abdul Jalil, M. F., & Kohan, S. (2021). Radiological predictors of recurrent lumbar disc herniation: A systematic review and meta-analysis. *Journal of neurosurgery: spine*, 34(3), 481–491. <https://doi.org/10.3171/2020.6.spine20598>
37. Jia, M., Sheng, Y., Chen, G., Zhang, W., Lin, J., Lu, S., Li, F., Ying, J., & Teng, H. (2021). Development and validation of a nomogram predicting the risk of recurrent lumbar disk herniation within 6 months after percutaneous endoscopic lumbar discectomy. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02425-2>
38. Shen, J., Wang, X., Cai, B., Chen, Y., Zhang, G., Xu, J., & Lian, X. (2022). Transforaminal endoscopic lumbar discectomy with targeted puncture and foraminotomy for very highly migrated disc herniation: A technique note with case series. *Heliyon*, 8(10), e11115. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11115>
39. Yang, F., Ren, L., Ye, Q., Qi, J., Xu, K., Chen, R., & Fan, X. (2021). Endoscopic and microscopic interlaminar Discectomy for the treatment of far-migrated lumbar disc Herniation: A retrospective study with a 24-Month follow-up. *Journal of pain research*, 14, 1593–1600. <https://doi.org/10.2147/jpr.s302717>
40. Lew, S. M., Mehalic, T. F., & Fagone, K. L. (2001). Transforaminal percutaneous endoscopic discectomy in the treatment of far-lateral and foraminal lumbar disc herniations. *Journal of neurosurgery: spine*, 94(2), 216–220. <https://doi.org/10.3171/spi.2001.94.2.0216>
41. Chen, C., Lin, G., Sharma, S., Kim, H., Sun, L., Wu, H., Chang, K., & Chen, Y. (2020). Suprapedicular Retrocorporeal technique of Transforaminal full-endoscopic lumbar Discectomy for highly downward-migrated disc Herniation. *World neurosurgery*, 143, e631–e639. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.08.038>
42. Kim, H. S., Adsul, N., Kapoor, A., Choi, S. H., Kim, J. H., Kim, K. J., Bang, J. S., Yang, K. H., Han, S., Lim, J. H., Jang, J., Jang, I., & Oh, S. (2018). A mobile outside-in technique of Transforaminal lumbar endoscopy for lumbar disc Herniations. *Journal of visualized experiments*, (138). <https://doi.org/10.3791/57999-v>
43. AbdElfattah, M., Elkazaz, M., & Khedr, A. S. (2022). Transforaminal percutaneous endoscopic lumbar Discectomy (TPELD)

- in caudal migrated lumbar disc Herniations: A case series and literature review. *Advanced spine journal*, 41(1). <https://doi.org/10.57055/2314-8969.1005>
44. Huang, K., Chen, G., Lu, S., Lin, C., Wu, S., Chen, B., Ying, J., Wang, Y., Zhu, M., & Teng, H. (2021). Early clinical outcomes of percutaneous endoscopic lumbar Discectomy for L4-5 highly down-migrated disc Herniation: Interlaminar approach versus Transforaminal approach. *World neurosurgery*, 146, e413–e418. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.10.105>
  45. Miller, L. E., McGirt, M. J., Garfin, S. R., & Bono, C. M. (2018). Association of annular defect width after lumbar Discectomy with risk of symptom recurrence and Reoperation. *Spine*, 43(5), E308–E315. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000002501>
  46. Zhang, Y., Chu, J., Xia, Y., Xie, Y., Zhang, R., Chen, X., Chen, Z., & Yao, X. (2023). Research trends of percutaneous endoscopic lumbar Discectomy in the treatment of lumbar disc Herniation over the past decade: A bibliometric analysis. *Journal of pain research*, 16, 3391–3404. <https://doi.org/10.2147/jpr.s421837>
  47. Martens, F., Lesage, G., Muir, J. M., & Stieber, J. R. (2018). Implantation of a bone-anchored annular closure device in conjunction with tubular minimally invasive discectomy for lumbar disc herniation: A retrospective study. *BMC musculoskeletal disorders*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2178-4>
  48. Zhao, Y., Tian, B., Ma, Q., & Zhang, M. (2023). Study on the clinical effect of percutaneous transforaminal endoscopic discectomy combined with annulus fibrosus repair in the treatment of single-segment lumbar disc herniation in young and middle-aged patients. *Pakistan journal of medical sciences*, 40(3). <https://doi.org/10.12669/pjms.40.3.3419>
  49. Kienzler, J. C., Rey, S., Wetzél, O., Atassi, H., Bäbler, S., Burn, F., & Fandino, J. (2021). Incidence and clinical impact of vertebral endplate changes after limited lumbar microdiscectomy and implantation of a bone-anchored annular closure device. *BMC surgery*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12893-020-01011-3>
  50. Wang, F., Li, J., Li, J., Sun, K., Zhang, B., Wang, D., Song, E., & Li, F. (2025). Bone anchoring annular suture technique for repairing annular defects at vertebral body edge following lumbar discectomy. *Scientific reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89179-7>
  51. Li, P., Yang, F., Chen, Y., & Song, Y. (2021). Percutaneous transforaminal endoscopic discectomy for different types of lumbar disc herniation: A retrospective study. *Journal of international medical research*, 49(10). <https://doi.org/10.1177/03000605211055045>
  52. Yerramneni, V. K., Kanala, R. R., Kolpakawar, S., & Yerragunta, T. (2021). MITLIF operative nuances- Step by step. *Neurology India*, 69(5), 1196–1199. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.329566>
  53. Ahn, Y., Bae, S., Jo, D., & Yoo, B. (2025). Magnetic resonance imaging predictors of surgical difficulty in Transforaminal endoscopic lumbar Discectomy for far-lateral disc Herniation under local anesthesia. *Biomedicines*, 13(4), 778. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13040778>
  54. Pruttikul, P., Pluemvitayaporn, T., Bannachirakul, M., Surapuchong, S., Kittithamvongs, P., Ratanakoosakul, W., Tiracharnvut, K., Piyasakulkaew, C., & Kunakornsawat, S. (2025). Transforaminal percutaneous endoscopic Discectomy for L3/4 and L4/5 foraminal and Extraforaminal lumbar disc Herniation: Clinical outcomes and technical note. *Asian journal of neurosurgery*, 20(02), 337–343. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1805018>
  55. Kweon, M., Bak, K., Yi, H., Choi, K., Han, M., Na, M., & Chun, H. (2024). Changes in disc height as a prognostic factor in patients undergoing microscopic Discectomy. *Journal of Korean neurosurgical society*, 67(2), 209–216. <https://doi.org/10.3340/jkns.2023.0110>
  56. Brinckmann, P., & Grootenboer, H. (1991). Change of disc height, radial disc bulge, and Intradiscal pressure from Discectomy an in vitro investigation on human lumbar discs. *Spine*, 16(6), 641–646. <https://doi.org/10.1097/00007632-199106000-00008>
  57. McGirt, M. J., Ambrossi, G. L., Datto, G., Sciubba, D. M., Witham, T. F., Wolinsky, J., Gokaslan, Z. L., & Bydon, A. (2009). Recurrent disc herniation and long-term back pain after primary lumbar discectomy. *Neurosurgery*, 64(2), 338–345. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000337574.58662.e2>
  58. Zileli, M. (2014). Recurrent disc Herniation. Textbook of surgical management of lumbar disc herniation, 298–298. [https://doi.org/10.5005/jp/books/12000\\_45](https://doi.org/10.5005/jp/books/12000_45)
  59. Chen, X., Sandhu, H. S., Vargas Castillo, J., & Diwan, A. D. (2021). The association between pain scores and disc height change following discectomy surgery in lumbar disc herniation patients: A systematic review and meta-analysis. *European spine journal*, 30(11), 3265–3277. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06891-4>
  60. Çetin, T., Kahraman, S., Kızılgöz, V., & Aydın, S. (2023). The comparison between herniated and non-herniated disc levels regarding Intervertebral disc space height and disc degeneration, a magnetic resonance study. *Diagnostics*, 13(20), 3190. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13203190>
  61. Ding, Y., Liu, L., Shi, J., Zhang, X., Chen, R., & Xu, S. (2024). Biochemical changes in lumbar facet joint and disc degeneration by T2\* mapping. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07265-9>
  62. Yang, L., Sun, C., Gong, T., Li, Q., Chen, X., & Zhang, X. (2022). T1ρ, T2 and T2\* mapping of lumbar intervertebral disc degeneration: A comparison study. *BMC musculoskeletal disorders*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06040-y>
  63. Zhou, M., Theologis, A. A., & O'Connell, G. D. (2023). Understanding the etiopathogenesis of lumbar intervertebral disc herniation: From clinical evidence to basic scientific research. *JOR spine*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/jsp2.1289>
  64. Fu, Y., Yan, Y., Ru, X., & Qu, H. (2022). Analysis of chronic low back pain caused by lumbar Microinstability after percutaneous endoscopic Transforaminal Discectomy: A retrospective study. *Journal of pain research*, 15, 2821–2831. <https://doi.org/10.2147/jpr.s380060>
  65. Chiang, C., Hsieh, Y., Tsuang, F., Chiang, Y., & Wu, L. (2022). Assessment of spinal stability after Discectomy followed by annulus fibrosus repair and augmentation of the nucleus Pulposus: A finite element study. *Applied sciences*, 12(23), 11906. <https://doi.org/10.3390/app122311906>
  66. Prado, M., Mascoli, C., & Giambini, H. (2022). Discectomy decreases facet joint distance and increases the instability of the spine: A finite element study. *Computers in biology and medicine*, 143, 105278. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105278>
  67. Bouhsina, N., Decante, C., Hardel, J., Rouleau, D., Abadie, J., Hamel, A., Le Visage, C., Lesoeur, J., Guicheux, J., Clouet, J., & Fusellier, M. (2022). Comparison of mri t1, t2, and T2\* mapping with histology for assessment of intervertebral disc degeneration in an ovine model. *Scientific reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09348-w>
  68. Han, J., Meng, X. H., Ji, Z., Niu, F., Zhu, N., Zhao, T., Shen, Z., Wang, Z., & Yang, Q. (2025). Quantitative assessment of lumbar intervertebral disc degeneration and its correlation with clinical symptoms: A study utilizing ultrashort time-of-echo and T2 mapping as biomarkers. *BMC musculoskeletal disorders*, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-025-09039-3>
  69. Modic, M. T., Steinberg, P. M., Ross, J. S., Masaryk, T. J., & Carter, J. R. (1988). Degenerative disk disease: Assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging. *Radiology*, 166(1), 193–199. <https://doi.org/10.1148/radiology.166.1.3336678>
  70. Pfirrmann, C. W., Metzendorf, A., Zanetti, M., Hodler, J., &

- Boos, N. (2001). Magnetic resonance classification of lumbar Intervertebral disc degeneration. *Spine*, 26(17), 1873–1878. <https://doi.org/10.1097/00007632-200109010-00011>
71. Rajasekaran, S., Ramachandran, K., K S, S. V., Kanna, R. M., & Shetty, A. P. (2024). From Modic to disc Endplate bone marrow complex — The natural course and clinical implication of vertebral Endplate changes. *Global spine journal*, 15(1), 196–209. <https://doi.org/10.1177/21925682241271440>
  72. Jones, A., Clarke, A., Freeman, B. J., Lam, K. S., & Grevitt, M. P. (2005). The Modic classification. *Spine*, 30(16), 1867–1869. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000173898.47585.7d>
  73. Li, Z., Liu, L., Liu, H., Tan, J., Li, X., Xu, Z., Ouyang, Z., Wang, C., Yan, Y., & Xue, J. (2022). Radiologic analysis of causes of early recurrence after percutaneous endoscopic Transforaminal Discectomy. *Global spine journal*, 14(1), 113–121. <https://doi.org/10.1177/21925682221096061>
  74. Hao, L., Li, S., Liu, J., Shan, Z., Fan, S., & Zhao, F. (2020). Recurrent disc herniation following percutaneous endoscopic lumbar discectomy preferentially occurs when Modic changes are present. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-020-01695-6>
  75. Yuan, F. (2023). Development and validation of a prognostic model for the risk of recurrent lumbar disc Herniation after percutaneous endoscopic Transforaminal Discectomy. *Pain physician journal*, 26(1), 81–90. <https://doi.org/10.36076/ppj.2023.26.81>
  76. Hedman, T., & Rogers, A. (2025). Pathomechanics of early-stage lumbar Intervertebral disc degradation leading to Discogenic pain—A narrative review. *Bioengineering*, 12(4), 389. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12040389>
  77. He, H., Ma, J., Xiong, C., Wei, T., Tang, A., Chen, Y., & Xu, F. (2023). Development and validation of a nomogram to predict the risk of lumbar disk Reherniation within 2 years after percutaneous endoscopic lumbar Discectomy. *World neurosurgery*, 172, e349–e356. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.01.026>
  78. Zhao, C., Zhang, H., Wang, Y., Xu, D., Han, S., Meng, S., Han, J., Liu, H., Zhou, C., & Ma, X. (2021). Nomograms for predicting recurrent Herniation in PETD with preoperative radiological factors. *Journal of pain research*, 14, 2095–2109. <https://doi.org/10.2147/jpr.s312224>
  79. Yang, J., Liu, R., Miao, Y., Nian, L., & Meng, X. (2023). Risk factors for recurrence after percutaneous endoscopic lumbar Discectomy: A meta-analysis. *World neurosurgery*, 172, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.02.009>
  80. Griffith, J. F., Wang, Y. J., Antonio, G. E., Choi, K. C., Yu, A., Ahuja, A. T., & Leung, P. C. (2007). Modified Pfirrmann grading system for lumbar Intervertebral disc degeneration. *Spine*, 32(24), E708–E712. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e31815a59a0>
  81. Wang, Y. X. (2022). Several concerns on grading lumbar disc degeneration on MR image with Pfirrmann criteria. *Journal of orthopaedic translation*, 32, 101–102. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2021.12.003>
  82. Scarcia, L., Pileggi, M., Camilli, A., Romi, A., Bartolo, A., Giubolini, F., Valente, I., Garignano, G., D'Argento, F., Pedicelli, A., & Alexandre, A. M. (2022). Degenerative disc disease of the spine: From anatomy to pathophysiology and radiological appearance, with morphological and functional considerations. *Journal of personalized medicine*, 12(11), 1810. <https://doi.org/10.3390/jpm12111810>
  83. Neeson, D., & Roberts, D. (2021). Imaging the spine. *Surgery (Oxford)*, 39(6), 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2021.04.007>

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| Стаття надійшла до редакції<br>23.10.2025 | Отримано після рецензування<br>05.12.2025 | Прийнято до друку<br>07.12.2025 |
|---|---|---------------------------------|

## RISK FACTORS OF RECURRENCE LUMBAR DISC HERNIATION AFTER PRIMARY ENDOSCOPIC TRANSFORAMINAL DISCECTOMY. PART 2

V. K. Piontkovskyi <sup>1</sup>, V. A. Kolesnichenko <sup>2</sup>, M. B. Holbaum <sup>3</sup>

<sup>1</sup> V. T. Zaitsev Institute of General and Emergency Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine

<sup>2</sup> V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

<sup>3</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

\* Valentin Piontkovskyi, MD, DMSci, Prof. in Orthopaedics and Traumatology: pio\_val@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-0967-877X>

\* Vira Kolesnichenko, MD, DMSci: vira.a.kolesnichenko@karazin.ua; <https://orcid.org/0009-0007-4106-1730>

\* Maksym Holbaum, MD: golbaymplaymarket@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-9047-0088>

УДК 617.3(477)(092)Анкін

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720261109>

## Лев Миколайович Анкін



Із глибоким сумом повідомляємо, що 23.01.2026 р. пішов із життя Лев Миколайович Анкін — професор, доктор медичних наук, військовий лікар, видатний український ортопед-травматолог, науковий діяч.

Л. М. Анкін народився 12 січня 1936 р., а у 1959 р. закінчив Казанський медичний інститут. Був залучений до лав Збройних сил, пройшов шлях від військового епідеміолога полка до головного травматолога Київського військового округу, отримав звання полковник. Після переїзду до Києва Лев Миколайович обіймав посаду завідувача травматологічного відділення військового шпиталю (1978). Більше 30 раціоналізаторських пропозицій вніс Анкін Л. М. працюючи на посаді головного травматолога Київського військового округу, приділяв багато часу й уваги підготовці кадрів, науковим конференціям, консультаціям. У 1986 р. Лев Миколайович перейшов до цивільної охорони здоров'я й успішно працював на посаді керівника клініки травматології Київського НДІ травматології та ортопедії, директором клініки травматології науково-виробничого об'єднання

швидкої допомоги та медицини катастроф, головним травматологом Києва, професором кафедри військової хірургії Української військово-медичної академії. Досяг значних успіхів у наукових розробках запропонованого ним методу лікування переломів. У 1993 р. Л. М. Анкін запропонував реформу травматологічної служби міста, яка полягала у створенні чотирьох цілодобово працюючих травматологічних центрів. Лев Миколайович сприяв упровадженню в практику вітчизняної травматології методів малоінвазивного (біологічного) остеосинтезу, хірургії таза та кульшової западини, удосконаленню надання медичної допомоги хворим із політравмою. Його книги «Остеосинтез металевими пластинами», «Принципи стабільно-функціонального остеосинтезу», «Практика остеосинтезу й ендопротезування», «Політравма», «Травматологія — європейські стандарти», «Ушкодження таза і переломи кульшової западини» й наразі цікаві фахівцям різних країн. Лев Миколайович започаткував у м. Київ протезування хворих похилого віку з переломами шийки стегнової кістки за невідкладними показаннями. Професор упровадив у практику методіку малоінвазивного біологічного остеосинтезу, запропонував для виконання цієї операції пластили з мінімальним (неповним) контактом, запровадив їхнє виробництво. Усе це дозволило зменшити кількість ускладнень і скоротити терміни зрощення переломів. Л. М. Анкін тривалий час передавав свій досвід слухачам Української військово-медичної академії, був науковим керівником трьох кандидатських дисертацій і багатьох магістерських робіт. Професор Лев Миколайович Анкін був видатним ученим, лікарем і педагогом, людиною високих професійних та людських якостей, наставником для кількох поколінь лікарів. Його ім'я назавжди залишиться в історії кафедри та української медицини.

Життєвий шлях Льва Миколайовича — зразок людської гідності, добропорядності, уміння працювати з людьми. Висловлюємо щирі співчуття рідним і близьким, учням і колегам.

Редакційна колегія журналу «Ортопедія, травматологія та протезування»  
Національний університет охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика