*DOI: https://doi.org/10.32345/2664-4738.1.2025.01*
*УДК: 616.71-001.5-089.84*

# УДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ЛІКУВАННЯ НЕЗРОЩЕНЬ КІСТОК ГОМІЛКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КІЛЬЦЕВИХ ФІКСАТОРІВ

***Рушай А. К.*** *https://orcid.org/0000-0002-9530-2321*
***Кучин Ю. Л.*** *https://orcid.org/0000-0003-3285-5727*

*Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця, Київ, Україна*

*Anatoliyrushay@gmail.com*

**Ціль.** За даними аналізу літератури, клінічних спостережень і експериментальних даних покращити всі складові комплексного лікування незрощень великогомілкової кістки з використанням кільцевих фіксаторів.

**Матеріали та методи.** Зразки фіксації фрагментів сертифікованої композитної кістки Sawbones® випробували у різних режимах з різними схеми розташування елементів кільцевих фіксаторів спице-стрижневого типу. Група порівняння складалася з 42 постраждалих; критерії відбору відповідали таким в основній групі. Лікування проводили з використанням традиційних методик остеосинтезу, в процесі чого були виявлені недоліки і зміним в ураженій гомілці. 36 пацієнтів з незрощеннями кісток гомілки, які були проліковані за запропонованою методикою, склали основну групу. Використовували сертифіковані композитну кістку Sawbones®, які відповідала характеристикам міцності реальної кістки. Аналіз характеристик жорсткості фіксації уламків різними конструкціями кільцевих фіксаторів при різних видах навантажень зробив можливим використання оптимальних варіантів.

**Результати.** Аналіз переміщення уламків кістки різних систем кільцевих фіксаторів при різних видах навантажень свідчив про наступне. Кращі результати були отримані при наступній компоновці: 1 спиця проведена в площині кільця, 2 - під кутом до площини Від стандартного варіанту (2 перехрещені спиці у площині кільця) жорсткість здавлення підвищилася на 14,4%; сгинання – на 30,8% і скручування на 4,8%. Використання нестероїдного протизапального препарату декскетопрофену в періопераційному періоді дозволило уникнути використання опоїдних анестетиків і мінімізувати їх негативний вплив.

**Висновок.** В експерименті виявлено, що найкращі показники жорсткості фіксації мають варіанти компоновки спиць з перехрестям не лише у фронтальній, а й і у сагітальній площинах. Отримані клінічні дані свідчать про перспективність застосування удосконалених кільцевих фіксаторів.

**Ключові слова:** незрощення великогомілкової кістки, комплексне лікування, кільцеві фіксатори.

**Актуальність**. Незрощення великогомілкової кістки після переломів є досить поширеною проблемою. Хірургічна техніки втручання на вогнищі незрощення з використанням кільцевих фіксаторів є поширеною тактикою лікування [1, 2, 3]. Її застосування обумовлено малою травматичністю; достатньо жорсткою фіксацією; відсутність металевих фіксаторів у вогнищі незрощення, що обумовлює низький ризик глибокого інфікування. Метод може здійснюватися в умовах технічних обмежень [4, 5, 6]. Недоліки методу звужують його застосування і ефективність. Конструктивні удосконалення кільцевих фіксаторів і обґрунтоване комплексне запобігання можливих ускладнень є одним з перспективних напрямків поліпшення результатів лікування незрощень.

Техніки використання кільцевих фіксаторів (КФ) в лікуванні незрощень довгих кісток гомілки хоча і набула поширення по всьому світу, однак вона має і наступні недоліки. При тривалому застосуванні КФ може розвинутись нестабільність системи апарат – кістка, зумовлена змінами в системі зовнішньої фіксації або явищами остеопорозу. Можливо закидання (кутове зміщення) при зведенні «транспорту» (здійснення дистракційного остеогенезу). Удосконалення технології фіксації КФ дозволить покращити результати лікування цієї тяжкої патології [7, 8, 9].

**Ціль**: За даними аналізу літератури, клінічних спостережень і експериментальних даних покращити складові комплексного лікування незрощень великогомілкової кістки і поліпшити його результати.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Критеріями включення постраждалих були вік від 18 до 60 років, із незрощеннями великогомілкової кістки після переломів зазначених параметрів, що спостерігалися не менше 6 місяців після втручання. Виключали із дослідження пацієнтів із системними або будь-якими скелетними захворюваннями і травмами, що впливали на консолідацію кісток; пацієнтів із подальшим спостереженням менше ніж 6 місяців після демонтажу фіксатора.

Під час огляду було задокументовано наявність незрощення, його характер, ступінь судинно-нервової недостатності та стан м'яких тканин. Усіх пацієнтів було проінформовано про приблизну тривалість лікування і пов'язані з ним ускладнення до проведення реконструктивної хірургії. Для включення в дослідження постраждали заповнювали інформовану згоду.

Група порівняння складалася з 42 постраждалих за попередні роки; критерії відбору відповідали таким в основній групі. Лікування проводилося з використанням традиційних методик остеосинтезу, в процесі чого були виявлені недоліки і зміним в ураженій гомілці. Критеріям включення відповідали 36 пацієнтів із незрощеннями кісток гомілки, які були проліковані за запропонованою методикою, і вони склали основну групу. Переважали чоловіки 31 (85,7%); жінок було 5 (13,9%). За всіма іншими критеріями пацієнти груп не мали відмінності.

Дані УЗД незрощення великогомілкової кістки свідчили про зміни у м'яких тканинах сегменту, що світчили про субкомпенсовані, функціональні порушення венозного кровотоку з теоретичною можливістю їх відновлення (рис. 1).

Експериментальне дослідження проводились у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». При проведенні експерименту використовували сертифіковані композитну кістку Sawbones®, які відповідала характеристикам міцності реальної кістки. Аналіз характеристик жорсткості фіксації уламків різними конструкціями кільцевих фіксаторів при різних видах навантажень зробив можливим виявлення оптимальних варіантів.

Для досліджень реалізовано 5 схем закріплення спиць в кільці апарату, яким фіксувалися фрагменти великогомілкової кістки (рис. 2).

У процесі навантаження були записані таблиці, в яких розміщені дані, що реєструвала випробувальна установка. Таблиці містять величини переміщення (мм) і силі (Н), що прикладалася. Щоб виключити вплив на розрахунок жорсткості недійсних результатів (система реєструвала результати і під час того, коли навантаження було знято), необхідно було побудувати графіки залежності сили (Н) від переміщення зразка (мм). Далі виділяли лінійний відрізок графіку залежності «сила – переміщення», по якому розраховувалася жорсткість системи (Н/мм).

*Таблиця 1*

**Розподіл постраждалих з незрощеннями великогомілкової кістки за віком**

| Вік пацієнтів, роки | Кількість | |
|---|---|---|
| | Абс | % |
| 18–24 | 26 | 34,2 |
| 25–45 | 24 | 31,6 |
| 45–65 | 18 | 23,7 |
| > 65 | 8 | 10,5 |
| Усього | 76 | 100 |

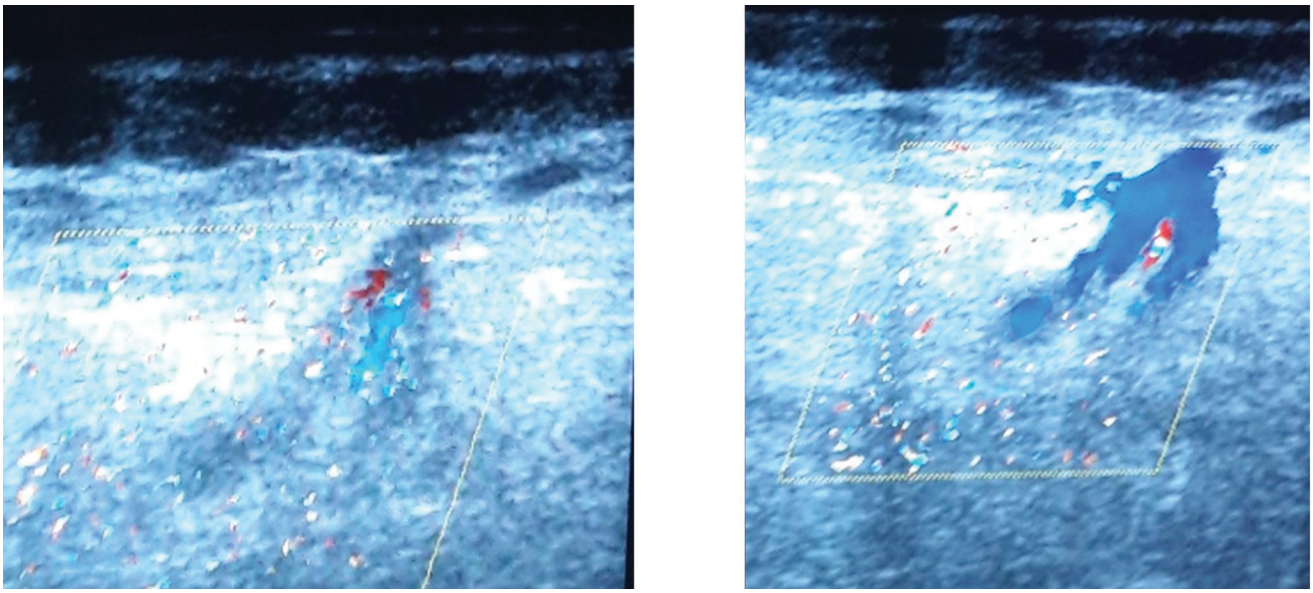

**Рис. 1.** Ультразвукова динамічна картина стану вен ураженої гомілки

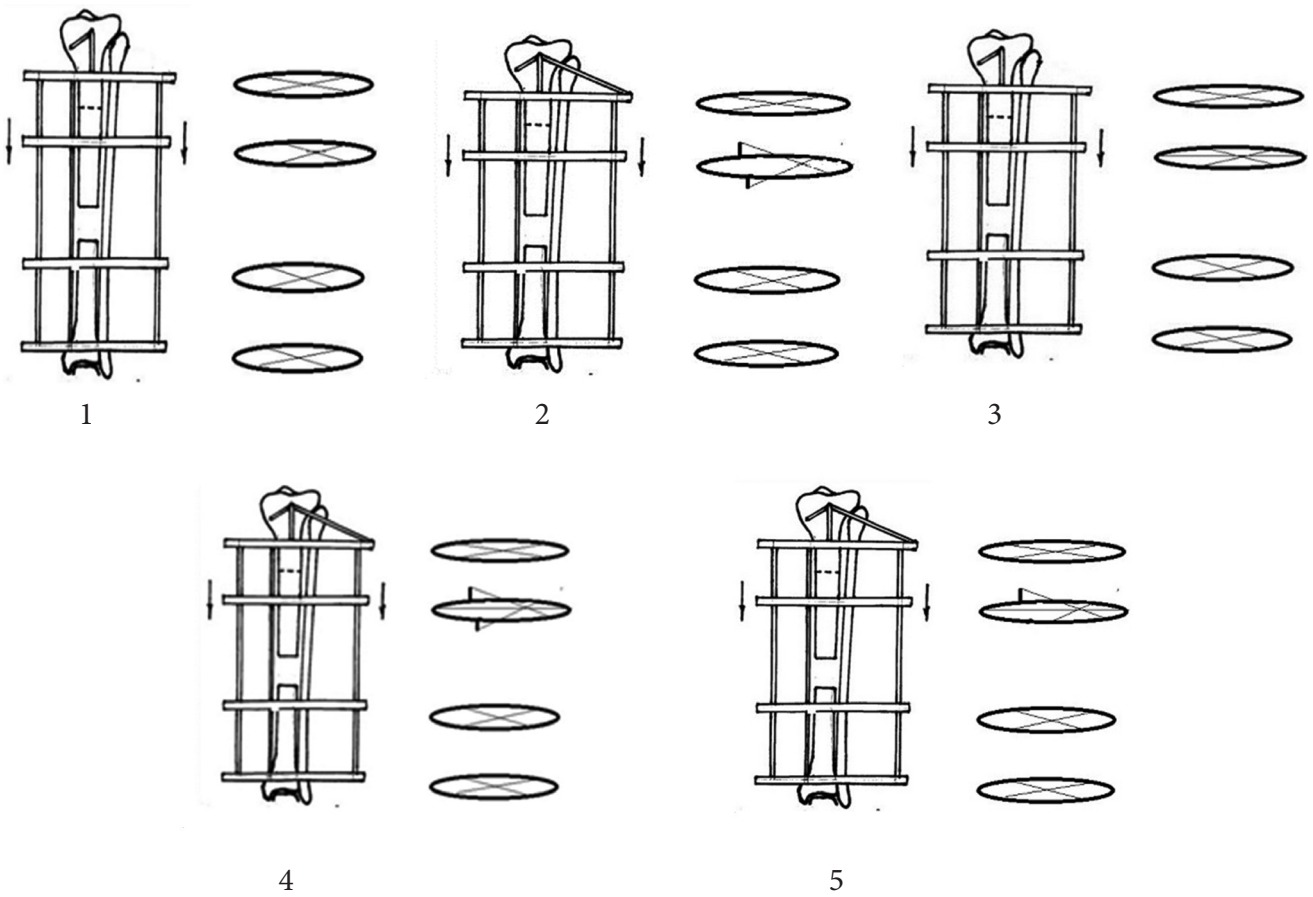


**Рис. 2.** Схема розташування елементів КФ : 1 - 2 спиці: розташовані в одній площині; 2 - 2 спиці: розташовані під кутом до площини кільця; 3 – 3 спиці: розташовані в одній площині; 4 - 3 спиці: 2 під кутом, 1 у площині кільця; 5 - 3 спиці: 1 під кутом, 2 у площині кільця

Застосовували спосіб реєстрації переміщень точок біологічних препаратів за допомогою цифрової фото зйомки, що забезпечувало одночасне вимірювання зміщень різних точок біомеханічної системи «уламки кістки – фіксатор». При фотографуванні об'єкту було використано контрастні по відношенню до решти зображення крапки (мітки).

Зображення у цифровому вигляді обробляли на комп'ютері, використовуючи стандартну систему керування цифровим зображенням.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Отримані в експерименті результати представлені в таблиці 1.

Аналіз переміщення уламків кістки різних систем КФ при різних видах навантажень свідчив про наступне. Найбільшу жорсткість мала система, в якій в «транспорту» було проведено 3 спиці, з них – 1 в площині кільця, 2 - під кутом; фіксація стрижня здійснювалася з плечем жорсткості кріплення (рис. 3).

Збільшення кількості спиць з 2 до 3: 2 під кутом, 1 у площині кільця. Жорсткість значно покращилися: здавлення до 76,3; згин до 119 і скручування до 1,52. Найкращі результати були отримані при цієї компоновці. Від стандартного варіанту (2 спиці у площині кільця) досягли таких покращень показників: жорсткість здавлення підвищилася на 14,4% (до 76,3 Н / мм); сгинання – на 30,8% (до 1,19 з 0,91 Н / мм) і скручування на 4,8% (до 1,52 Н / мм).

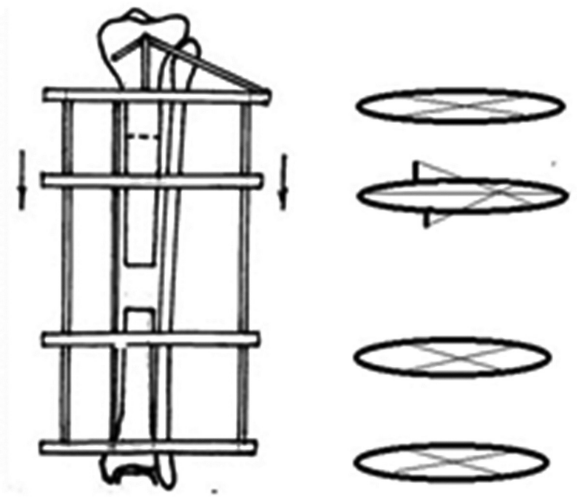

**Рис. 3.** Схема оптимального розташування елементів КФ : 3 спиці: 2 під кутом, 1 у площині кільця. Стержень з «трикутником жорсткості»

Наш клінічний досвід свідчить про вірогідність виникнення запалення в зоні введення спиць та стрижня. Найчастішою причиною була нестабільність системи «апарат-кістка». Отримавши експериментальні дані підвищення стабільності системи, ми використовували КФ з варіантами компоновки 3 спиць у кільці, яким низводився остеотомований фрагмент - «транспорт» - з перехрестям 2 з них не лише у фронтальній, а й і у сагітальній площинах. Використовували спиці діаметром 2 мм з «пірьяною» заточкою. Швидкість проведення електродрилю не перевищувала 220 обертів в мінуту. Натяжіння спиць контролювалося кожного тижня, при необхідності проводили

*Таблиця 1*

**Порівняння жорсткостей систем за різного просторового розміщення спиць при дії різних видів навантажень (Н/мм)**

| № схеми, її опис | Стиск вздовж вісі кістки (Н/мм) | Згин (Н/мм) | Кручення (Н/мм) |
|---|---|---|---|
| 1 - 2 спиці: розташовані в одній площині | 66,7 | 0,91 | 1,41 |
| 2 - 2 спиці: розташовані під кутом | 71,3 | 1,05 | 1,36 |
| 3 - 3 спиці: розташовані в одній площині | 69,8 | 0,96 | 1,46 |
| 4 - 3 спиці: 2 під кутом, 1 у площині кільця | 76,3 | 1,19 | 1,52 |
| 5 - 3 спиці: 1 під кутом, 2 у площині кільця | 67,1 | 0,93 | 1,48 |

їх перенатяжку. У періопераційному періоді проводили знеболювання безпечного нестероїдного протизапального препарату Дексалгіну® з вираженою знеболюючою дією в комбінації з розчином парацетамолу Ірфулгану з метою мінімізації використання опоїдних препаратів у премедикації і у найближчому післяопераційному періоді.

## ОБГОВОРЕННЯ

Слід зазначити, що багато авторів пропонують різні удосконалення КФ. для лікування незрощень. Запропоновані конструкції не знайшли широкого застосування завдяки їх складності і травматичності. Запропоноване нами удосконалення просте, малотравматичне, ефективне, базується на використанні стандартних наборів апаратів позавогнищевої фіксації. Це дозволяє використовувати його в травматологічних відділеннях лікарень. Клінічний приклад застосування запропонованого варіанту компоновки кільцевого фіксатора наведено на рисунку 4.

Експериментальні і клінічні дані свідчать, що компоновка з проведенням в кільці з 3 спиць – 2 під кутом, 1 у площині кільця – є найбільш стабільною, особливо на здавлення. Клінічне застосування отриманих експериментальних даних свідчило про зниження ускладнень і покращення результатів. Удосконалені властивостей спице-стержневих КФ під час лікування дефектів великогомілкової кістки були здійснені у 12 постраждалих з травматичними дефектами великогомілкової кістки. Ускладнень за типом закидання «транспорту» та виникнення нестабільності та запалення в зоні введення спиць та стрижня не спостерігалося.

Застосування у періопераційному мультімодальному знеболюванні безпечного нестероїдного протизапального препарату Дексалгіну® з вираженою знеболюючою дією в комбінації з розчином парацетамолу Ірфулгану дозволило мінімізувати використання опоїдних препаратів в післяопераційному періоді (лише у 3 хворих), що теж вплинуло на функціональні результати.

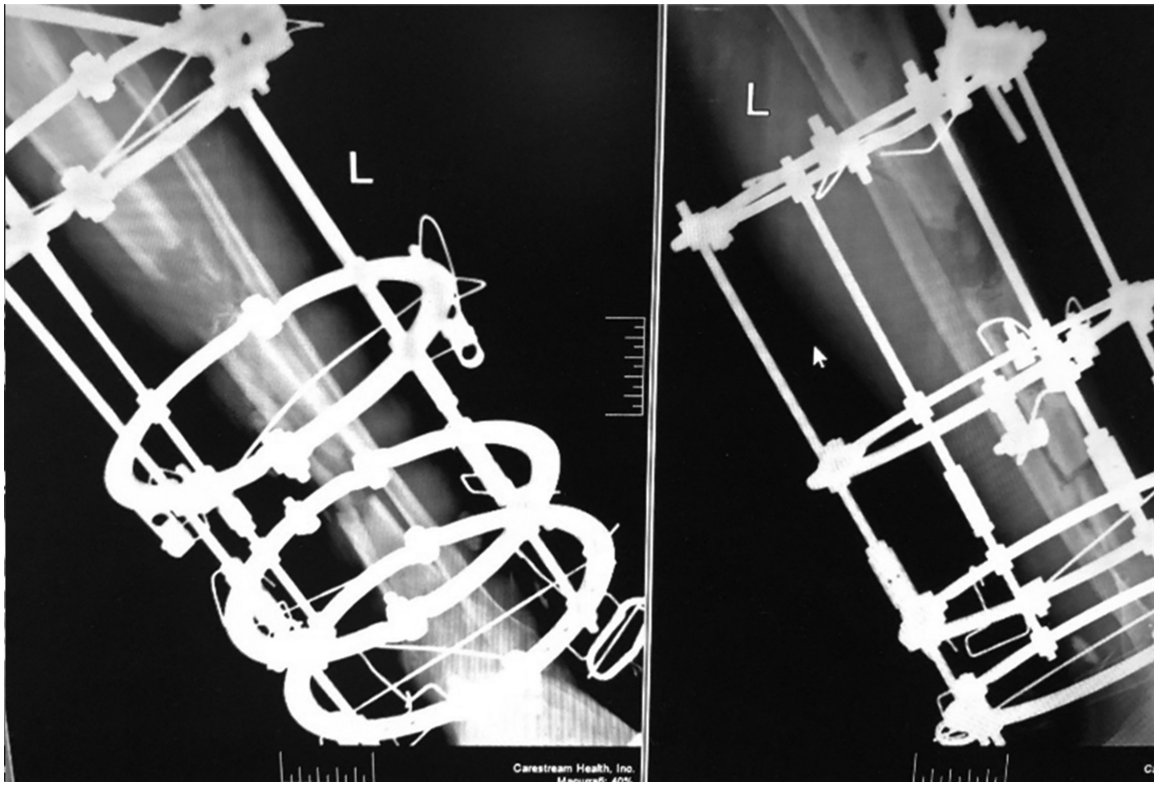


**Рис. 4.** Рö-грами клінічного прикладу застосування запропонованого варіанту компоновки КФ при лікуванні незрощення с дефектом кісткової тканини

У хворих клінічно оцінювали розвиток післяопераційного больового синдрому на підставі показників інтенсивності болю за візуально-аналоговою шкалою (ВАШ) протягом 48 годин (рис. 5).

Через 12 годин після початку операції біль пацієнтами оцінювалася як терпима (6,75±0,8 балів). З ослабленням дії спинномозкової анестезії основним напрямком знеболювання декскетопрофена було придушення трансдукції (ноцицептивної рецепції), трансмісії (передачі ноцицептивної інформації в інтегративні центри центральної нервової системи) і в меншій мірі - модуляції (пресинаптического гальмування і полегшення). На 12 годину після початку операції дію спинномозкової анестезії практично припинялося, а больова імпульсація була значною. Знеболювання забезпечувалося дією Дексалгіну® (придушення механізмів як центрального, так і периферичного генезу болю). Потреба в введенні промедолу зменшувалася. Через 24 і 48 годин після втручання (3,05±0,7 і 2,15±0,6 бала відповідно) біль була слабо виражена і легко сприймалася хворими.

Це призвело до того, що у переважної більшості прооперованих (29 осіб) з використанням Дексалгіну® промедол вводився в кількості 1,0 мл одноразово, і лише 7 знадобилося його повторне введення.

Таким чином, оптимальне періопераційне знеболювання хворих з незрощеннями кісток гомілки ми бачимо в наступному. Найбільш повно всім вимогам відповідала спинномозкова анестезія. Вона доповнювалася застосуванням Дексалгіну® у вигляді премедикації і знеболення в ранньому післяопераційному періоді. Кількість промедолу при цьому було незначним.

Результати знеболювання на всіх етапах до 48 годин після втручання оцінювалася хворими як адекватні.

Були отримані наступні результати лікування постраждалих з кістковим дефектом гомілки з використанням КФ із запропонованими нами режимами використання за оцінною анатомо-функціональною шкалою Modified

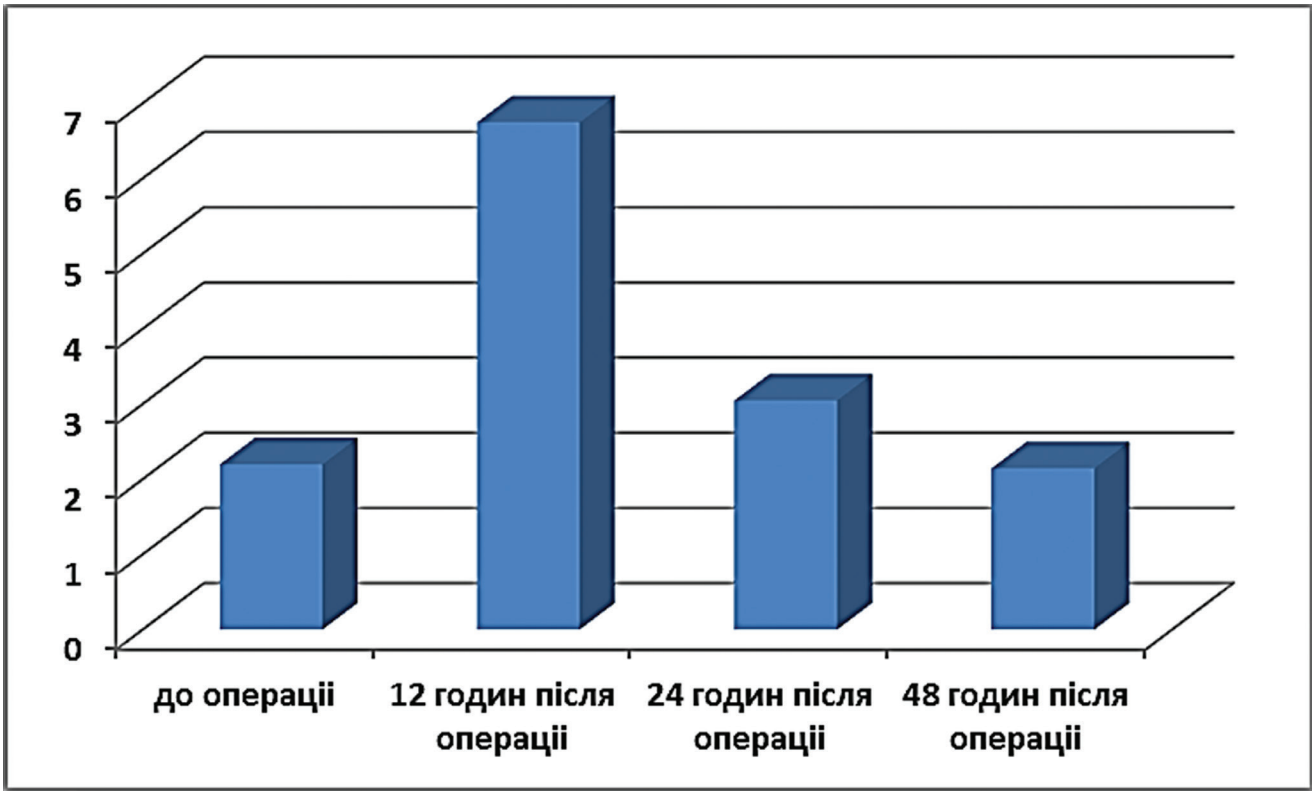


**Рис.5.** Динаміка балів за візуально-аналоговою шкалою в періопераційному періоді

Functional Evaluation Systemby Karlstrom-Olerud (табл. 2).

Графічна структура результатів лікування постраждалих з кістковим дефектом гомілки за оцінною анатомо-функціональною шкалою Modified Functional Evaluation Systemby Karlstrom-Olerud представлена на рисунку 6.

У 24 (66,7 %) хворих результати були оцінені як добрі та відмінні, і лише у 1 – як незадовільний. Беручи до уваги тяжкість патології і близькість отриманих результатів інших авторів [6, 7, 8], отримані клінічні результати слід вважати непоганими. За даними цих авторів, отримані функціональні результати під час лікування незрощення великогомілкової кістки коливаються в таких межах: чудові та хороші – від 37,6 до 84,7 %; погані, незадовільні – від 6,7 до 16,67 %.

Таким чином, лікування порушень м'яких тканин проведенням мультімодального знеболювання з використанням Дексалгіну®, спице-стрижневих вдосконалених КФ на основі стандартних наборів дозволили уникнути багатьох ускладнень позавогнищевої фіксації та отримати добрі результати. Отримані результати вдосконаленого остеосинтезу КФ слід вважати обнадійливими, проте ця проблема потребує подальшого вивчення.

*Таблиця 2*

**Результати лікування постраждалих з кістковим дефектом гомілки за оцінною анатомо-функціональною шкалою Modified Functional Evaluation Systemby Karlstrom-Olerud**

| Характеристика категорії | Результати за шкалою Karlstrom-Olerud | |
|---|---|---|
| | Абс. | % |
| Погані (незадовільні) результати | 3 | 8,3 |
| Задовільні результати з помірними порушеннями функції | 9 | 25,0 |
| Гарні і відмінні результати | 24 | 66,7 |
| Всього | 36 | 100,0 |

**Рис. 6.** Графічна структура результатів лікування

**ВИСНОВКИ**

1. В експерименті виявлено, що найкращі показники жорсткості фіксації мають варіанти компоновки спиць з перехрестям не лише у фронтальній, а й і у сагітальній площинах.
2. Отримані клінічні дані свідчать про перспективність застосування удосконалених кільцевих фіксаторів.
3. Важливою складовою лікування порушень м'яких тканин є консервативна терапія, зокрема проведення мультімодального знеболювання з використанням Дексалгіну®.

**Конфлікт інтересів**. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці цієї статті.

**Фінансування**. Робота виконувалася відповідно до плану наукових досліджень «Теорія та методика ефективного лікування постраждалих з порушенням регенерації тканин» (№ держреєстрації 0117U00263).

**REFERENCES**

1. Maimaiti X, Liu K, Yusufu A, et al. Treatment of tibial bone defects caused by infection: a retrospective comparative study of bone transport using a combined technique of unilateral external fixation over an intramedullary nail versus circular external fixation over an intramedullary nail. BMC Musculoskelet Disord 2024; 25: 284. DOI: 10.1186/s12891-024-07377-2.
2. Cao ZM, Sui XL, Xiao Y, Qing LM, Wu PF, Tang JY. Efficacy comparison of vascularized iliac crest bone flap and Ilizarov bone transport in the treatment of traumatic bone defects of the tibia combined with large soft tissue defects. J Orthop Surg Res 2023;18:349. DOI: 10.1186/s13018-023-03783-9.
3. Zhang Q, Kang Y, Wu Y, Zhang M, Lin F. Masquelet combined with free-flap technique versus the Ilizarov bone transport technique for severe composite tibial and soft-tissue defects. – Injury, 2024;4:111521 DOI: 10.1016/j.injury.
4. Laksha AA. [Biomechanical justification of the use of external fixation systems in the surgical treatment of wounded with gunshot fractures of long bones (clinical-experimental study)] : dissertation of candidate of medical sciences. Liman, 2018: 29.
5. Shidlovskiy MS, Laksha AA, Musienko OS. [Characteristics of the hardness of rod apparatus for the fixation of fired fractures]. In: Progressive technique, technology and engineering education. Materials of the XIX International Scientific and Technical Conference. Kyiv, 2018: 24-27. DOI: 10.20535/2409-7160.2018.XIX.241015.
6. Liu K, Zhang H, Maimaiti X, et al. Bifocal versus trifocal bone transport for the management of tibial bone defects caused by fracture-related infection: a meta-analysis. J Orthop Surg Res 2013;18: 140. DOI: 10.1186/s13018-023-03636-5.
7. Wu Y, Yin Q, Rui Y, Sun Z, Gu S. Ilizarov technique: Bone transport versus bone shortening-lengthening for tibial bone and soft-tissue defects. Journal of Orthopaedic Science, 2018; 23: 2:341–345. DOI: 10.1016/j.jos.2017.12.002.
8. Aktuglu K, Erol K, Vahab, A. Ilizarov bone transport and treatment of critical-sized tibial bone defects: a narrative review. Journal of Orthopaedics and Traumatology. 2019; 20(1):1-14. DOI: 10.1186/s10195-019-0527-1.
9. Best orthopedic workshop bone models for surgical skills education training. Available on: https://www.sawbones.com/ORTHOPAEDIC-MODELS-PRODUCT-INFO.

# IMPROVING THE COMPLEX TREATMENT OF TIBIAL NONUNIONS USING RING FIXATORS

***Rushai A. K., Kuchin Yu. L.***

*Anatoliyrushay@gmail.com*

**Aim.** To identify the most effective constructive improvements in the bone-transport technique for the treatment of tibial defects in the experiment.

**Materials and methods.** Certified Sawbones® composite bones were used, which correspond to the strength characteristics of real bone. Samples of fragment fixation were tested in different modes with different arrangements of elements of the ring fixators of the spoke-rod type. The testing machine TIRATEST-2151 No. 48/8.9 was used. During the test, the prototype was photographed at different load values. The images were digitally processed on a computer using a standard digital image management system.

**Results.** The analysis of the displacement of bone fragments of different systems of ring fixators under different types of loads showed the following. The best results were obtained with the following arrangement: 1 spoke is in the plane of the ring, 2 spokes are at an angle to the plane Compared to the standard variant (2 crossed spokes in the plane of the ring), the compressive stiffness increased by 14.4%; bending - by 30.8% and torsion - by 4.8%. The use of the non-steroidal anti-inflammatory drug dexketoprofen in the perioperative period allowed us to avoid the use of opioid anesthetics and minimize their negative effects.

**Conclusion.** The experiment revealed that the best indicators of fixation rigidity are obtained with the variants of the spokes arrangement with a cross not only in the frontal but also in the sagittal planes.

The clinical data obtained indicate the prospects of using improved ring fixators.

**Key words:** nonunion of the tibia, complex treatment, ring fixators.