

UDC: 615.465:616.718.5/.6-089.22-7]:620.1.05
[https://doi.org/10.32345/USMYJ.4\(134\).2022.37-43](https://doi.org/10.32345/USMYJ.4(134).2022.37-43)

Received: October 11, 2022

Accepted: November 15, 2022

Оптимізація компонування кільцевих шпиче-стрижневих фіксаторів на ґрунті експериментальних даних під час лікування незрощень кісток гомілки.

Байда Максим ¹, Рушай Анатолій ¹, Мартинчук Олександр ¹, Мусяєнко Ольга²

¹ НМУ імені О. О. Богомольця, Україна, Київ

² Національний технічний університет України Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна, Київ.

Address for correspondence:

Rushay Anatoliy

E-mail: Anatoliyrushay@gmail.com

Анотація: проблема незрощень великогомілкової кістки після переломів є актуальною і остаточно не вирішеною проблемою. Використання кільцевих шпиче-стрижневих апаратів є провідним методом лікування. Удосконалення цієї технології є загальноприйнятим напрямом покращення результатів лікування. Метою роботи було покращення результатів лікування незрощень кісток гомілки на основі удосконалення технології фіксації кільцевих фіксаторів. Для виконання завдання дослідження було вивчені проблемні питання фіксації шпиче-стрижневими кільцевими апаратами незрощень кісток гомілки після переломів; сформульована концепція розв'язання існуючих недоліків методу в експерименті; клінічні застосування і аналіз отриманих результатів. Експериментально було визначено вплив просторової фіксації стрижня у кільцевому фіксаторі шпиче-стрижневого типу. Об'єктом дослідження була синтетична кістка Sawbones® з моделлю перелому, який був фіксований кільцевим фіксатором шпиче-стрижневого типу 2 моделями. У нашому експерименті фіксації «апарат-кістка» всі основні параметри обох моделей (кількість кілець, шпичь, кутів перетину шпичь та площин перелому) були аналогічні. Відмінність двох моделей полягала лише в наявності або відсутності ребра жорсткості фіксації стрижня. Критерієм включення до дослідження відповідали 60 потерпілих. 31 пацієнт були прооперовані з застосуванням кільцевих апаратів з підвищеною жорсткістю фіксації стрижня за запропонованою методикою; вони становили основну групу. 29 хворих - група порівняння, лікування здійснювалося за загальноприйнятою методикою з використанням фіксації стрижня без ребра «жорсткості». Клінічну оцінку результатів здійснювали з використанням анатомо-функціональна шкала Modified Functional Evaluation System by Karlstrom-Olerud. Отримані експериментальні дані свідчили про поліпшення параметрів жорсткості шпиче-стрижневої системи під час використання фіксації стрижня з ребром жорсткості. Найбільший ефект був отриманий під час випробування на згинання – показник збільшився з 0,91 до 1,19 Н/мм (на 23,53%). Отримані нами результати клінічної ефективності (хороші та відмінні 77,8%; незадовільні у 2,8%) можна порівняти з даними більшості дослідників. Анатомо-функціональні результати в основній групі з високою ймовірністю (95%) перевищували результати в групі порівняння. Таким чином, отримані експериментальні дані свідчили про поліпшення параметрів жорсткості шпиче-стрижневої системи

під час використання фіксації стрижня з ребром «жорсткості». Маючи на увазі тяжкість ураження, ми вважаємо отримані клінічні результати обнадійливим. Слід рекомендувати застосування запропонованих удосконалень та подальше дослідження їхньої ефективності.

Ключові слова: кістки нижньої кінцівки, зовнішня фіксація, остеогенез, кістка, методика Ілізарова.

Вступ

Незрощення великогомілкової кістки після переломів є актуальною медичною та соціальною проблемою. (Birch, J. G., 2017; van Niekerket et al., 2017; Borzunov D. Y. et al., 2020). Основним загальноприйнятим і широко застосовуваним є метод лікування модифікованими апаратами Ілізарова шпиче-стрижневого типу. Зовнішня фіксація в лікуванні незрощень довгих кісток гомілки за допомогою кільцевих шпиче-стрижневих фіксаторів (КШСФ), що набула поширення по всьому світу, має наступні переваги - реконструкція відбувається живою кісткою без шкоди для здорових тканин інших областей, з достатньою міцністю і довговічністю стійкістю до інфекції та довічно відновленою функцією (Abulaiti A. et al., 2022; Liu, Y. et al., 2020; Veselý, R., & Procházka, V., 2016).

Цей метод має як переваги, а й недоліки, які детермінують їх використання. Техніка з використанням КШСФ малотравматична, створює жорстку фіксацію в зоні перехресних шпич в кільцях. Низький ризик інфікування тканин, економічна доцільність та технічна можливість здійснення методу навіть в умовах не лише спеціальних центрів, а й у травматологічних відділеннях районних лікарень створюють можливість їх широкого застосування. Ці параметри здешевлюють операційне забезпечення.

Однак є й недоліки КШСФ. При тривалій фіксації може розвинути нестійкість системи «апарат - кістка», обумовлена змінами в системі зовнішньої фіксації або явищами остеопорозу. Використання стрижнів поблизу колінного суглоба замість перехрестя спиць знижує ризик розвитку контрактур, проте знижує і параметри жорсткості фіксації. Удосконалення технології лікування КШСФ дозволить покращити результати лікування цієї тяжкої патології (Veselý, R. et al., 2019; Wu, Y. et al., 2018).

Мета

Поліпшити результати лікування незрощень кісток гомілки на основі оптимальної просторової фіксації стрижня кільцевих фіксаторів шпиче-стрижневого типу.

В умовах експерименту визначити оптимальну конструкцію просторової фіксації стрижня кільцевих фіксаторів шпиче-стрижневого типу.

Удосконалити технологію дистракційного остеосинтезу з використанням кільцевих фіксаторів з урахуванням отриманих даних експерименту.

Визначити клінічну ефективність удосконалень.

Експериментальна частина

Незрощення великогомілкової кістки після переломів є актуальною медичною та соціальною проблемою (Abulaiti A et al., 2022; Liu, Y. et al., 2020; Jiang, Q., Huang, K., Liu, Y., & Chi, G., 2020; Veselý, R., & Procházka, V., 2016). Основним загальноприйнятим і широко застосовуваним є метод лікування модифікованими апаратами Ілізарова шпиче-стрижневого типу. Зовнішня фіксація в лікуванні незрощень довгих кісток гомілки за допомогою кільцевих шпиче-стрижневих фіксаторів (КШСФ), що набула поширення по всьому світу, має наступні переваги - реконструкція відбувається живою кісткою без шкоди для здорових тканин інших областей, з достатньою міцністю і довговічністю стійкістю до інфекції та довічно відновленою функцією (Liu, Y et al., 2020; Veselý, R., & Procházka, V., 2016).

Цей метод має як переваги, а й недоліки, детермінуючі їх використання. Техніка з використанням КШСФ малотравматична, створює жорстку фіксацію в зоні перехресних шпич у кільцях. Низький ризик інфікування тканин, економічна доцільність та технічна можливість здійснення методу навіть в умовах не лише спеціальних центрів, а й у трав-

матологічних відділеннях районних лікарень. Ці параметри здешевлюють операційне забезпечення.

Однак є й недоліки КШСФ. При тривалій фіксації може розвинутися нестабільність системи «апарат-кістка», обумовлена змінами в системі зовнішньої фіксації або явищами остеопорозу. Використання стрижнів поблизу колінного суглоба замість перехрестя шпиль знижує ризик розвитку контрактур, проте знижує параметри жорсткості фіксації. Удосконалення технології лікування КШСФ дозволить покращити результати лікування цієї тяжкої патології (Veselý, R., & Procházka, V., 2016; Catagni M. A. et al., 2019; Wu, Y. et al., 2018).

Мета

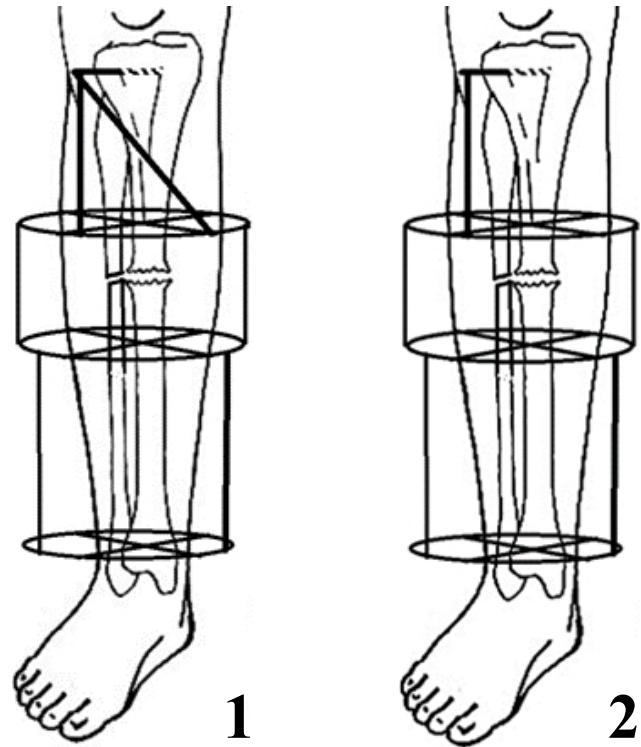
Визначити вплив просторової фіксації стрижня в кільцевому фіксаторі шпиль-стрижневого типу. Поліпшити результати лікування незрощень кісток гомілки на основі оптимальної просторової фіксації стрижня.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження була синтетична кістка Sawbones® з моделлю перелому, який був фіксований кільцевим фіксатором шпиль-стрижневого типу 2 моделей. Композитні кістки Sawbones® сертифіковані; імітують властивості людських кісток. Вони використовуються в усьому світі для моделювання сценарію навантаження та руху; для розробки та затвердження медичного фіксуючого пристрою. Композитні кістки Sawbones® офіційно заявлені та тестовані як альтернативне тестове середовище до кістки людського трупа; використовуються у всьому світі при навчанні прийомів остеосинтезу.

У нашій моделі фіксації апарат-кістка всі параметри (кількість кілець, шпиль, кутів перетину шпиль і площини перелому) були аналогічні. Відмінність двох моделей полягала лише у наявності чи відсутності ребра жорсткості фіксації стрижня (малюнки 1,2).

Дослідження проводились у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедрі динаміки та міцності машин та опору матеріалів. Використовувалася випробувальна машина TIRATEST-2151 №48/8.9.



Малюнок 1.

Схема фіксації стрижня з ребром жорсткості.

Малюнок 2.

Схема фіксації стрижня без ребра жорсткості.

Застосовували спосіб реєстрації переміщень точок біологічних препаратів за допомогою цифрової фотозйомки, що забезпечувало одночасне вимірювання зміщень різних точок біомеханічної системи «уламки кістки – фіксатор». Зображення у цифровому вигляді обробляли на комп'ютері, використовуючи стандартну систему керування цифровим зображенням.

Клінічна частина

Усі пацієнти лікувалися в період з 2014 по 2021 рік щодо незрощень кісток гомілки після переломів. Критеріями включення були: вік від 18 до 60 років; атрофічні незрощення великогомілкової кістки зі строком спостереження не менше 6 місяців після втручання. Параметрами виключення були: пацієнти <18 років; наявність системних чи будь-яких захворювань скелета.

Критеріями включення відповідали 19 пацієнта з атрофічними незрощеннями кісток гомілки, у яких фіксація була проведена апаратами КШСФ із запропонованими модифі-



Малюнок 3.

Зовнішній вигляд «ребра жорсткості» КШСФ при лікуванні незрощень кісток гомілки.

каціями; і вони становили основну групу. Переважали чоловіки 15 (78,9%); жінок було 4 (21,1%). При надходженні всі пацієнти були проінформовані про особливості реконструктивного лікування; заповнювалася поінформована угода.

Група порівняння складалася із 21 постраждалого. Критерія відбору відповідали таким у основній групі. Відмінність полягала у тому, що лікування проводилося з використанням традиційних конструкцій КШСФ.

Застосування запропонованого методу забезпечувало досить жорстку динамічну фіксацію за відсутності у зоні регенерації сторонніх фіксаторів. Технологія фіксації стрижня здійснювалася з використанням «ребра (трикутника) жорсткості». Спочатку вводили стрижень у верхню третину великогомілкової кістки, після чого монтували заздалегідь підготовлений кільцевий модуль апарату.

Стабільність фіксації стрижня посилювалася монтуванням «ребра жорсткості» (мал. 3).

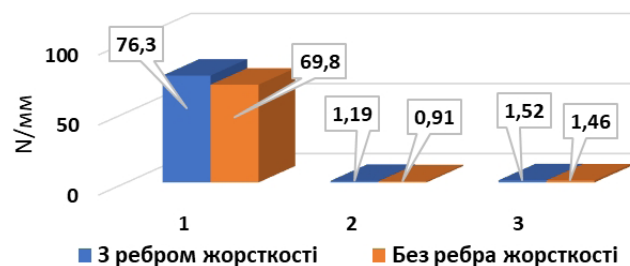
В якості критеріїв оцінки результатів використовувався час знаходження в апараті зовнішньої фіксації EFT (the time in the external fixator) та індекс зовнішньої фіксації EFI (the external fixation) (Wu, Y. et al., 2018; Tekin, A. Ç. et al., 2016; Matsubara, H. et al., 2006). Фінальні критерії оцінки включали функціональні та анатомічні результати за оцінкою

анатомо-функціональною шкалою Modified Functional Evaluation System by Karlstrom-Olerud. by Karlstrom-Olerud. Кількість балів у межах шкали коливається від 21 до 33 де 21-23 означає погані (незадовільні) результати; 24-26 – помірне порушення функції; 27-29 - задовільний і 30 - хороший функціональний статус, тоді як 33 пункти вказують на відмінний функціональний статус. Аналіз охоплював методи опису функції та статистичну обробку. Для визначення статистичної достовірності використовувався аналіз у групах із використанням програмного забезпечення Office Excel.

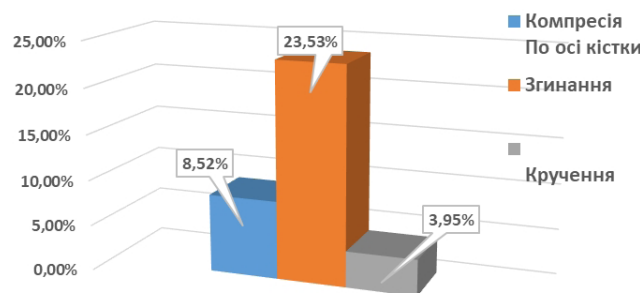
Результати та обговорення

Експериментальні дані порівняння жорсткості фіксації при різній фіксації стрижня (з ребром жорсткості і без нього) при дії різних видів навантаження (здавлення по осі; згинання та скручування) представлені в малюнку 4.

Різниця показників жорсткості при різній просторовій фіксації стрижня представлена в малюнку 5.



Малюнок 4. Порівняння параметрів апарату при різній фіксації стрижня, Н/мм (з ребром жорсткості і без нього) при дії різних видів навантаження (1 - стискання по осі; 2 - згинання; 3 - скручування).



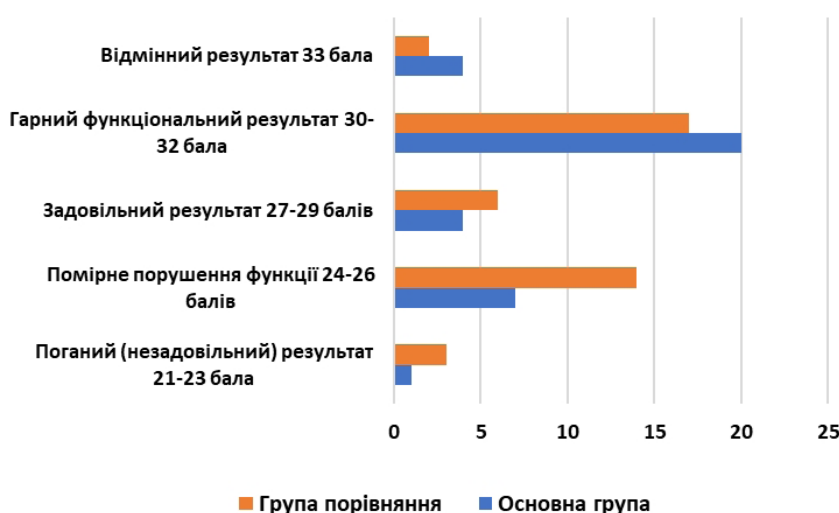
Малюнок 5. Різниця показників жорсткості при різній просторовій фіксації стрижня (з «ребром жорсткості» та без нього) – Н/мм.

Отримані експериментальні дані свідчили про поліпшення параметрів жорсткості спице-стрижневої системи під час використання фіксації стрижня з «ребром жорсткості». Найбільший ефект отримано при випробуванні на згинання – показник збільшився з 0,91 до 1,19 Н/мм (на 23,53%).

Медикаментозна терапія складалася з мульти-modalного періопераційного знеболювання (Дексалгін, інфулган, перідуральна анестезія маркаїном); судинної терапії (цибор 2500 ОД, пентоксифілін, рефортан), корекції обмінних процесів (полівітаміни гр.В, келтікан). Сприяла цьому і рання кінезотерапія, магнітотерапія, пайлер-терапія.

Отримано наступні результати лікування постраждалих з незрощення кісток гомілки при використанні КШСФ із запропонованими нами режимами використання в межах значень оціночної анатомо-функціональної шкали Modified Functional Evaluation System by Karlstrom-Olerud. Описані функції піддавали статистичній обробці та оцінювали в балах (малюнок 6).

Критерій Пірсона під час аналізу масиву даних з урахуванням кількості балів становив 0,98, коефіцієнт кореляції КК - 0,976983738. Розмір коефіцієнта кореляції відбивала сили зв'язку. За його визначення використовували шкалу Чеддока (0-0,3 - дуже слабка сила зв'язку, 0,5-0,7 - середня, 0,7-0,9 - висока, 0,9-1 - дуже висока)



Малюнок 6.

Порівняння отриманих результатів лікування у групах.

Оцінюючи порівняння ефективності отриманих результатів досліджень, проведених різними авторами (Aktuglu, K. et al., 2019; Borzunov, D. Y. et al., 2020), слід відмітити існування певних труднощів. Це відсутність однорідності досліджень, різні терміни та критерії оцінки. За даними різних авторів (Kornah, B. A. et al., 2016; Aktuglu, K. et al., 2019; Abulaiti A. et al, 2022), отримані функціональні результати при лікуванні незрощення великогомілкової кістки коливаються в таких межах: відмінні та хороші - від 37,6 до 84,7%; погані, незадовільні - від 4,3 і 6,7 до 16,67%.

Таким чином, отримані експериментальні дані свідчили про поліпшення параметрів жорсткості спице-стрижневої системи під час використання фіксації стрижня з ребром жорсткості. Найбільший ефект отримано при випробуванні на згинання – показник збільшився з 0,91 до 1,19 Н/мм (на 23,53%).

Експериментальні дані були підтверджені клінічними результатами. Анатомо-функціональні результати в основній групі за значеннями оціночної анатомо-функціональної шкали Modified Functional Evaluation System by Karlstrom-Olerud з високою ймовірністю (>95%) перевищували результати в групі порівняння.

Отриманий результат слід вважати обнадійливим, враховуючи тяжкість та складність патології.

Висновки

1. Параметри жорсткості спице-стрижневої системи під час використання фіксації стрижня з «ребром жорсткості» на 23,5% перевищують такі в системах без нього.
2. Клінічне використання удосконалених спице-стрижневих конструкцій КШСФ дозволило отримати добрі результати.
3. Отримані результати вдосконаленого остеосинтезу КШСФ слід вважати обнадійливими; проблема вимагає подальшого вивчення.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості під час підготовки цієї статті. Дані роботи отримані в рамках виконання НДР «Теорія та методика ефективного лікування постраждалих із порушенням регенерації тканин». Державний реєстраційний номер: 0117U00263.

Участь авторів:

(A,B, D) Vaida Maxim

[0000-0002-9530-2321](https://doi.org/10.1186/s10195-019-0527-1) (A,B,C,D) Rushay Anatoliy

(B,E) Martinchuk Alexander

[0000-0001-8255-3909](https://doi.org/10.1186/s10195-019-0527-1) (C,E, F) Musiienko Olha

A – Research concept and design, B – Collection and/or assembly of data, C – Data analysis and interpretation, D – Writing the article, E – Critical revision of the article, F – Final approval of article

ЛІТЕРАТУРА

Abulaiti A., Liu, Y., Cai, F., Liu, K., Abula, A., Maimaiti, X., Ren, P., & Yusufu, A. (2022). Bone Defects in Tibia Managed by the Bifocal vs. Trifocal Bone Transport Technique: A Retrospective Comparative Study. *Frontiers in surgery*, 9, 858240. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.858240>

Aktuglu, K., Erol, K., & Vahabi, A. (2019). Ilizarov bone transport and treatment of critical-sized tibial bone defects: a narrative review. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, 20(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s10195-019-0527-1>

Ayed A. Al Shahrani, Jaya Shanker Tedla, Ahmad (2015). Effectiveness of Ilizarov frame fixation on functional outcome in aseptic tibial non-union cases at Abha, Kingdom of Saudi Arabia: an experimental study, *J. Taibah Univ. Med. Sci.* 10 (2), 216-221

Birch, J. G. (2017). A brief history of limb lengthening. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 37, 1-S8. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001021>

Borzunov, D. Y., Kolchin, S. N., & Malkova, T. A. (2020). Role of the Ilizarov non-free bone plasty in the management of long bone defects and nonunion: Problems solved and unsolved. *World journal of orthopedics*, 11(6), 304-318 <https://doi.org/10.5312/wjo.v11.i6.304>

Catagni M. A., Azzam W., Guerreschi F., Lovisetti L., Poli P., Khan M. S., Di Giacomo L. M. (2019). Trifocal versus bifocal bone transport in treatment of long segmental tibial bone defects. *Bone & Joint Surgery*, 101-B(2), 162–169. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B2.BJJ-2018-0340.R2>

Catagni, M. A., Azzam, W., Guerreschi, F., Lovisetti, L., Poli, P., Khan, M. S., & Di Giacomo, L. M. (2019). Trifocal versus bifocal bone transport in treatment of long segmental tibial bone defects: a retrospective comparative study. *The bone & joint journal*, 101(2), 162-169. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B2.BJJ-2018-0340.R2>

Jiang, Q., Huang, K., Liu, Y., & Chi, G. (2020). Using the Ilizarov technique to treat limb shortening after replantation of a severed lower limb: a case report. *Annals of Translational Medicine*, 8(16). doi: 10.21037/atm-20-5316.

Kornah, B. A., Safwat, H. M., Sultan, A. A. M., & Abdel-Aal, M. A. (2016). *Journal of Trauma & Treatment. J Trauma*, 5(4), 5: 337. doi: 10.4172/2167-1222.100033

Liu, Y., Yushan, M., Liu, Z., Liu, J., Ma, C., & Yusufu, A. (2020). Complications of bone transport technique using the Ilizarov method in the lower extremity: a retrospective analysis of 282 consecutive cases over 10 years. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21, 1-9. doi: 10.1186/s12891-020-03335-w.

Matsubara, H., Tsuchiya, H., Sakurakichi, K., Watanabe, K., & Tomita, K. (2006). Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator. *International orthopaedics*, 30(6), 550-554. <https://doi.org/10.1007/s00264-006-0133-8>

Tekin, A. Ç., Çabuk, H., Dedeoğlu, S. S., Saygılı, M. S., Adaş, M., Esenyel, C. Z. & Tonbul, M. (2016). The results of bone deformity correction using a spider frame with web-based software for lower extremity long bone deformities. *SICOT-J*, 2(11), 24-32 <https://doi.org/10.1051/sicotj/2016005>

van Niekerk, A. H., Birkholtz, F. F., de Lange, P., Tetsworth, K., & Hohmann, E. (2017). Circular external fixation and cemented PMMA spacers for the treatment of complex tibial fractures and infected nonunions with segmental bone loss. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)*, 25(2), 2309499017716242. <https://doi.org/10.1177/2309499017716242>

Veselý, R., & Procházka, V. (2016). Kalusdistrakce v léčení poúrazových defektů femuru a tibie. *ACHOT*, 83(6), 388-392.

Wu, Y., Yin, Q., Rui, Y., Sun, Z., & Gu, S. (2018). Ilizarov technique: bone transport versus bone shortening-lengthening for tibial bone and soft-tissue defects. *Journal of Orthopaedic Science*, 23(2), 341-345. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2017.12.002>

Optimization of the arrangement of ring-spice-rod fixators on the experimental data base during the treatment of tibia nonunion.

Baida Maxim¹, Rushay Anatoliy¹, Martinchuk Alexander¹, Musiienko Olha²

¹ Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

² National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky”, Kyiv, Ukraine

Address for correspondence:

Rushay Anatoliy

E-mail: Anatoliyrushay@gmail.com

Abstract: the problem of tibial bone non-unions after fractures is an actual and not finally solved problem. The use of ring spoke-rod devices is the leading method of treatment. Improvement of this technology is a generally accepted direction to improve the results of treatment. The aim of the work was to improve the results of the treatment of non-unions of the lower leg bones based on the improvement of the fixation technology of ring retainers. In order to fulfill the task of the research, the problematic issues of fixation of non-unions of lower leg bones after fractures with spoke-rod ring devices were studied; the formulated concept of solving the existing shortcomings of the method in the experiment; clinical applications and analysis of the obtained results. The influence of the spatial fixation of the rod in the ring fixator of the spoke-rod type was determined experimentally. The subject of the study was a Sawbones® synthetic bone with a fracture model, which was fixed with a ring fixator of the spoke-rod type by 2 models. In our «apparatus-bone» fixation experiment, all the main parameters of both models (number of rings, spokes, angles of intersection of spokes and fracture planes) were similar. The difference between the two models was only in the presence or absence of a stiffener for fixing the rod. 60 victims met the criteria for inclusion in the study. 31 patients were operated on with the use of ring devices with increased rigidity of rod fixation according to the proposed method; they formed the main group. 29 patients - the comparison group, the treatment was carried out according to the generally accepted method using fixation of the rod without a rib of «stiffness». Clinical evaluation of the results was carried out using the anatomic-functional scale of the Modified Functional Evaluation System by Karlstrom-Olerud. The obtained experimental data indicated an improvement in the stiffness parameters of the spoke-rod system when using rod fixation with a stiffening rib. The greatest effect was obtained during the bending test - the indicator increased from 0.91 to 1.19 H/mm (by 23.53%). The results of clinical effectiveness obtained by us (good and excellent 77.8%; unsatisfactory in 2.8%) can be compared with the data of most researchers. Anatomic-functional results in the main group with a high probability (95%) exceeded the results in the comparison group. Experimental data were confirmed by clinical results. The anatomic-functional results in the main group according to the values of the estimated anatomic-functional scale of the Modified Functional Evaluation System by Karlstrom-Olerud with a high probability (>95%) exceeded the results in the comparison group. Bearing in mind the severity of the lesion, we consider the obtained clinical results to be encouraging. Application of the proposed improvements and further investigation of their effectiveness should be recommended.

Key words: [bones of lower extremity](#), [external fixators](#), [osteogenesis](#), [bone](#), [Ilizarov technique](#)



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee USMYJ, Kyiv, Ukraine. This article is an **open access** article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.