

УДК 616.728.3-089.881-092.9:636.4](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872019464-69>

## Експериментальне дослідження міцності фіксації зв'язки наколінка після її реконструкції

О. Є. Вирва, І. О. Скорик, М. Ю. Карпінський, О. Д. Карпінська

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

*Modular replacement is an adequate method of treatment after removal of proximal tibia tumors. However, there are problems with the restoration of the knee joint function, its extensor mechanism. Objective: to determine the strength of patellar ligament fixation under modeling on the knee joint of a pig. The reconstruction of the extensor mechanism was made with a nylon tape or attachment tube to fix the patellar ligament to the proximal tibia tuberosity. Methods: on the preparations of the pigs knee joints, the reconstruction of the extensor mechanism was simulated in two series of the experiment: I — grafting of the patellar ligament using a nylon tape; II — grafting with attachment tube, previously fixed to the proximal part of the tibia. The samples were tested for strength under the influence of a tension loading, the value of which was gradually increased until the patellar ligament was torn off from the tibia. The obtained results were processed statistically. Results: samples of the I series withstood the load before failure on average 1.4 times less than in the II series ( $t = -4.820$ ;  $p = 0.001$ ). The average values of the load that caused the tearing of the patellar ligament were significantly different, however, the maximum value of the series of breaking load of series I did not intersect with the minimum value of the series of data of series II. Detachment of the ligament from the patella occurred due to the eruption, and not the destruction of the suture material. Conclusions: the attachment tube is 1.4 times stronger ( $p < 0.01$ ) than nylon tape. Due to this, the knee joint movements, and operated limb weight bearing can be started in the early postoperative period, thereby reducing the number of complications and improving the functional outcomes of surgeries in patients with proximal tibia tumors. Key words: knee joint, extensor mechanism, reconstruction, biomechanic.*

*Модульное эндопротезирование является адекватным методом замещения дефекта после удаления опухолей проксимального отдела большеберцовой кости (ББК). Однако существуют проблемы с восстановлением функции коленного сустава, а именно его разгибательного аппарата. Цель: определить прочность фиксации связки надколенника в условиях моделирования на коленном суставе свиньи реконструкции разгибательного аппарата с использованием для крепления связки надколенника к бугристости ББК нейлоновой ленты или Attachment tube. Методы: на препаратах коленных суставов свиней моделировали реконструкцию разгибательного аппарата в двух сериях эксперимента: I — пластика связки надколенника с помощью нейлоновой ленты; II — пластика к Attachment tube, предварительно зафиксированной на проксимальном отделе ББК. Испытывали образцы на прочность под воздействием нагрузки на растяжение, величину которой постепенно увеличивали до момента отрыва связки надколенника от ББК. Полученные показатели обработаны статистически. Результаты: образцы I серии выдерживали нагрузку до разрушения в среднем в 1,4 раза меньше, чем во II ( $t = -4,820$ ;  $p = 0,001$ ). Средние значения величины нагрузки, вызвавшие отрыв связки надколенника, заметно отличались между собой, однако максимальное значение ряда разрушающей нагрузки I серии не имело пересечения с минимальным значением ряда данных II серии. Отрыв связки надколенника происходил из-за прорезывания, а не разрушения шовного материала. Выводы: пластика с использованием Attachment tube в 1,4 раза ( $p < 0,01$ ) прочнее, чем фиксация нейлоновой лентой. Благодаря этому разработку движений в коленном суставе и нагружение на прооперированную конечность можно выполнять в раннем послеоперационном периоде, уменьшая тем самым количество осложнений и улучшая функциональный результат хирургического вмешательства у пациентов с опухолями проксимального отдела ББК. Ключевые слова: коленный сустав, разгибательный аппарат, реконструкция, биомеханика.*

**Ключові слова:** колінний суглоб, розгинальний апарат, реконструкція, біомеханіка

## Вступ

Пухлини проксимального відділу великогомілкової кістки доволі часто трапляються в практиці кісткового онколога. Із кінця 1970-х років, після початку використання хіміотерапії, лікування пухлин стало значно успішнішим [1]. Проте залишилися проблеми з відновленням функції кінцівки, особливо на ділянці колінного суглоба, зокрема, в проксимальному відділі великогомілкової кістки. Через складну анатомічну будову хірургічне видалення пухлини і, особливо, ендопротезування з реконструкцією проксимального відділу великогомілкової кістки, має певні проблеми. Існує ризик травматизації малогомілкового нерва, а також підколінних судин. А разом зі складним оперативним доступом виникають подальші проблеми з можливістю закриття дефекту м'якими тканинами. Доволі складним та основним етапом хірургічного втручання на цій ділянці є відновлення розгинального апарата колінного суглоба й адекватної функції кінцівки [2–4].

Натепер існує велика кількість різноманітних способів реконструкції проксимального відділу великогомілкової кістки після резекції пухлини «en block», одним із яких є модульне ендопротезування цієї ділянки. Цей метод досить перспективний завдяки відносній простоті використання, можливості раннього навантаження та функціонування оперованої кінцівки [5, 6]. Тим не менш, урахувавши той факт, що сухожилки не можуть зростатись із металом, залишається відкритим питання щодо відновлення розгинального апарата колінного суглоба [2–4, 6–14]. Відомо, що наслідком таких маніпуляцій можуть бути розтягнення та розриви зв'язки наколінка. Це, імовірно, пов'язано з недостатньою міцністю шва до моменту формування рубцевої тканини навколо імплантата, а під час різкого згинання колінного суглоба в поєднанні з навантаженням можливі відриви зв'язки наколінка [2–5, 7–14].

Тому для оптимізації вибору конструкції з метою зменшення ускладнень і покращення функції колінного суглоба після резекції пухлини проксимального відділу великогомілкової кістки зі зміщенням дефекту модульним ендопротезом ми вирішили провести експериментальне біомеханічне дослідження.

*Мета роботи:* визначити міцність фіксації зв'язки наколінка за умов моделювання на колінному суглобі свині реконструкції розгинального апарата з використанням для кріплення зв'язки

наколінка до горбистості великогомілкової кістки нейлонової стрічки або Attachment tube.

## Матеріал і методи

У лабораторії біомеханіки ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» виконано експериментальні випробування на міцність швів зв'язки наколінка, які обговорено та схвалено на засіданні локального комітету з біоетики (протокол № 174 від 29.01.2018). Для роботи використано препарати колінних суглобів свиней, на яких у двох серіях експерименту моделювали реконструкцію розгинального апарата, застосовуючи для кріплення зв'язки наколінка до горбистості великогомілкової кістки:

I — пластика за допомогою нейлонової стрічки (рис. 1, а);

II — пластика зв'язки наколінка до Attachment tube, попередньо зафіксованої на проксимальному відділі великогомілкової кістки (рис. 1, б).

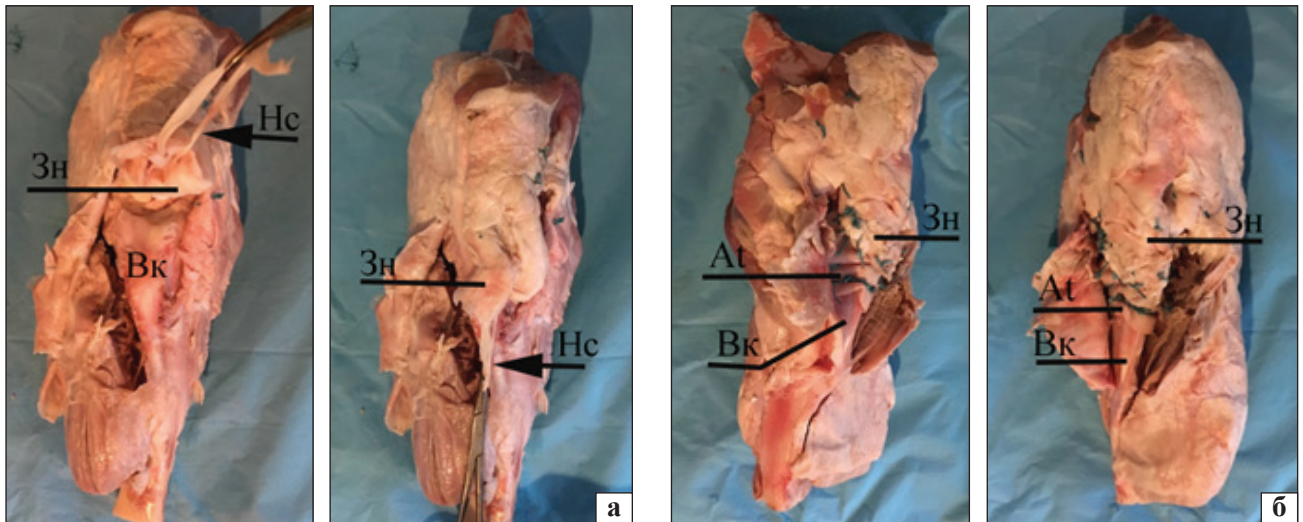
В експериментальних умовах на препаратах колінного суглоба свині виконано парapatеллярний розтин капсули колінного суглоба, відсічення її та зв'язки наколінка. У проксимальному відділі великогомілкової кістки сформовано 4 отвори. У I серії зв'язку наколінка прошито нейлоновою стрічкою, її кінці проведено через сформовані отвори великогомілкової кістки, зав'язано, капсулу колінного суглоба зашито вузловими швами ниткою Etibond № 5. У II серії Attachment tube підшито до проксимального відділу великогомілкової кістки ниткою Etibond № 5, зв'язку наколінка прошито ниткою Etibond № 5 і підшито до Attachment tube, капсулу суглоба підшито до Attachment tube та зашито вузловими швами ниткою Etibond № 5.

Під час експерименту здійснювали випробування зразків на міцність під впливом навантаження на розтягнення, схему якого наведено на рис. 2.

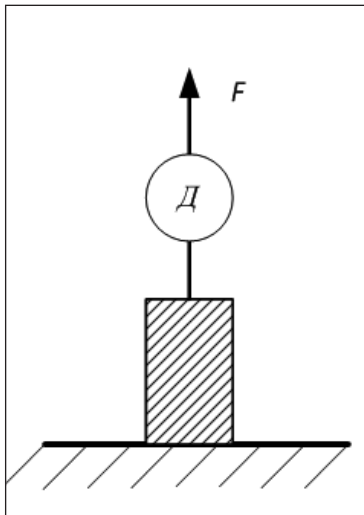
Препарат колінного суглоба свині жорстко закріплювали на стенді для біомеханічних досліджень (рис. 3). До наколінка прикладали навантаження на розтягнення, величину якого поступово збільшували до моменту відриву зв'язки наколінка від великогомілкової кістки.

Силу розтягнення вимірювали за допомогою тензометричного датчика SBA-100L. Максимальне значення навантаження в момент відриву зв'язки фіксували пристроєм реєстрації CAS типу CI-2001A.

Результати показників експериментальних досліджень було оброблено нами статистично.



**Рис. 1.** Варіанти кріплення зв'язки наколінка (Зн): а) пластика нейловою стрічкою (Hc), великогомілкова кістка (Bk); б) пластика з використанням Attachment tube (At). Bk — проксимальний відділ великогомілкової кістки



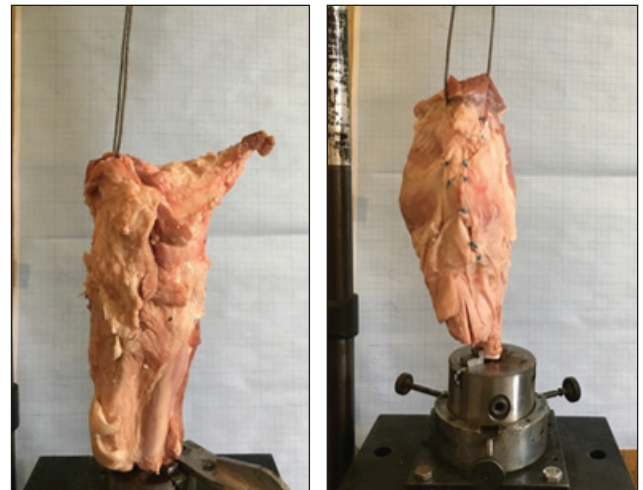
**Рис. 2.** Схема навантаження експериментальних зразків

Розраховували середнє ( $M$ ) та стандартне відхилення ( $SD$ ), максимальне та мінімальне значення у серіях експерименту. Порівняння виконували за допомогою Т-тесту для незалежних вибірок. Статистичні розрахунки проводили в пакеті прикладних програм IBM Statistic SPSS from version 20 [15].

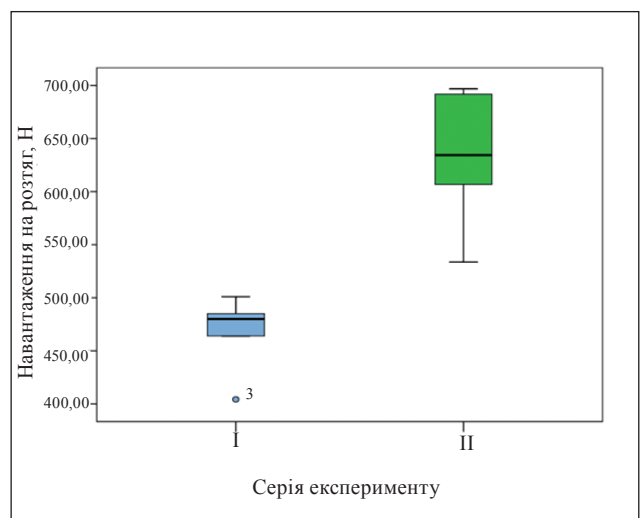
### Результати та їх обговорення

Проведено 10 експериментальних досліджень міцності швів (по 5 для кожного шва) кріплення зв'язки наколінка. Протокол дослідження наведено в табл. 1.

Результати експериментальних досліджень препаратів колінних суглобів свиней із різними типами швів зв'язки наколінка наведено в табл. 2.



**Рис. 3.** Препарат на стенді для біомеханічних досліджень під час проведення експерименту



**Рис. 4.** Діаграма розподілу навантаження руйнування експериментальних зразків

Таблиця 1  
**Протокол експериментальних досліджень**

Зразок	Тип кріплення	Навантаження розриву, Н
1	I	501
2		480
3		404
4		485
5		464
6	II	606
7		634
8		696
9		691
10		533

Таблиця 2  
**Результати порівняння видів швів на витривалість до розриву**

Серія експерименту	Навантаження розриву, Н		Значущість різниці
	M ± SD	Min ÷ max	
I	466 ± 37	404 ÷ 501	t = -4,820
II	633 ± 67	534 ÷ 670	p = 0,001

Встановлено, що зразки I серії експерименту витримували навантаження до руйнування в середньому в 1,4 разу менші, ніж у II серії з використанням Attachment tube (t = -4,820; p = 0,001). Як показали вимірювання, середні значення величини навантаження, що призвели до відриву зв'язки наколінка, помітно відрізнялися між собою. Слід зазначити, що відрив зв'язки наколінка відбувався через прорізування біологічних тканин шовним матеріалом, а не руйнування останнього. Велика різниця в навантаженні, що спричинює руйнування, пов'язана з розміром колінного суглоба та товщиною зв'язки наколінка. Треба розуміти, що неможливо виконати однакові шви, і це слід пам'ятати під час оцінювання результатів проведеного експерименту та можна віднести до похибки вимірювання. Більше інформації надано на діаграмі (рис. 4), де показники експериментального дослідження наведено у вигляді шухлядок, нижньої та верхньої, а їхні межі обмежені 25 та 75 % довірчого інтервалу, за центральну тенденцію прийнято медіану ряду.

Значне розходження нижньої та верхньої меж шухлядок на діаграмі свідчить про статистично значущу різницю між порівняними рядами даних. Зауважимо, що медіана (лінія в середині шухлядки) для I серії зміщена в бік більших значень (правобічний розподіл), у той самий бік зміщується максимальне значення ряду, а міні-

мальне дорівнює межі 25 % довірчого інтервалу. Значення 404 Н для I серії статистично вважається викидом, тобто є більшим, ніж на 3 довжини шухлядки.

Для II серії експерименту дані мають більший розкид, що показано на діаграмі, медіана ряду зміщується в бік менших значень, спостерігається нерівномірність розподілу тих показників, які мають спрямованість у бік менших значень (лівобічний розподіл). Максимальне значення для II серії наближено до верхньої (75 %) межі довірчого інтервалу.

Слід зауважити, що максимальне значення ряду величини руйнівного навантаження I серії не має перехрещення з мінімальним значенням ряду даних II серії.

Реконструкція розгинального апарата колінного суглоба є складним і важливим етапом хірургічного втручання, оскільки від цього залежить подальша функція суглоба та нижньої кінцівки загалом [16, 22]. Надійне кріплення розгинального апарата колінного суглоба під час модульного ендопротезування — одна з важливих складових, які забезпечують ранню функцію оперованої кінцівки, що дає змогу знизити кількість ускладнень у післяопераційному періоді та покращити функціональні результати в коротші терміни [16, 17, 19].

У цьому дослідженні ми використали два варіанти пластики розгинального апарата колінного суглоба, а саме: за допомогою нейлової стрічки та використання Attachment tube, до якої здійснювали реінсерцію капсули колінного суглоба та зв'язки наколінка [17–20]. Під час експерименту ротаційну міопластику не виконували, оскільки це не впливає на результати дослідження, хоча деякі автори вказують на важливість цього етапу хірургічного втручання [8, 9, 12]. Зауважимо, що під час пластики за допомогою Attachment tube виконують фіксацію не лише зв'язки наколінка, а й капсули колінного суглоба та відсічених навколо нього м'язів [16, 20, 21], у такий спосіб максимально відновлюючи анатомію ділянки колінного суглоба. На відміну від цього в разі застосування нейлової стрічки капсулу та відсічені м'язи колінного суглоба підшивають до прилеглих тканин, що збільшує час до початку активних рухів у колінному суглобі через необхідність формування фіброзної капсули навколо ендопротеза.

Як визначено в результаті нашого дослідження, фіксація розгинального апарата з використанням Attachment tube значно міцніша та дає

можливість витримувати суттєво більші навантаження безпосередньо після її виконання. Зокрема, різниця у здатності витримувати навантаження до розриву і руйнування у випадку використання Attachment tube в середньому виявилася в 1,4 разу більшою порівняно з нейловою стрічкою. У клінічних умовах також кращі функціональні результати ми спостерігали в пацієнтів після реконструкції розгинального апарата з використанням Attachment tube (за шкалою MSTS  $(72 \pm 12) \%$ , за шкалою TESS —  $(74 \pm 16) \%$ ) [16, 19–21]. Ускладнення у вигляді відриву зв'язки наколінка у хворих після фіксації останньої нейловою стрічкою були обумовлені порушенням ортопедичного режиму, тобто початком функції колінного суглоба до моменту утворення щільної сполучної тканини [19]. Навпаки, пацієнти після модульного ендопротезування проксимального відділу великогомілкової кістки з використанням Attachment tube для відновлення розгинального апарата колінного суглоба вже на третю добу повністю навантажували прооперовану кінцівку та починали вправи для відновлення рухів у суглобі [16].

## Висновки

Проведене експериментальне дослідження міцності кріплення зв'язки наколінка до великогомілкової кістки довело, що пластика з використанням Attachment tube є в 1,4 разу ( $p < 0,01$ ) міцнішою, ніж фіксація нейловою стрічкою. Завдяки цьому відновлення рухів у колінному суглобі та навантаження на прооперовану кінцівку можна виконувати в ранньому післяопераційному періоді, зменшуючи тим самим кількість ускладнень і покращуючи функціональний результат хірургічного втручання в пацієнтів із пухлинами проксимального відділу великогомілкової кістки.

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

## Список літератури

- Five-year results in Ewing's sarcoma: the Scandinavian Sarcoma Group experience with the SSG IX protocol / I. Elomaa, C. P. Blomqvist, G. Saeter [et al.] // *The European Journal of Cancer*. — 2000. — Vol. 36. — P. 875–880. — DOI: 10.1016/S0959-8049(00)00028-9.
- Reconstruction of the extensor mechanism after proximal tibia endoprosthetic replacement / J. Bickels, J. C. Wittig, Y. Kollender [et al.] // *The Journal of Arthroplasty*. — 2001. — Vol. 16. — P. 856–862. — DOI: 10.1054/arth.2001.25502.
- Proximal tibial replacement and alloplastic reconstruction of the extensor mechanism after bone tumor resection [in German] / B. M. Holzzapfel, H. Pilge, A. Toepfer [et al.] // *Operative Orthopädie und Traumatologie*. — 2012. — Vol. 24. — P. 247–262. — DOI: 10.1007/s00064-012-0187-2.
- Reconstructed patellar tendon length after proximal tibia prosthetic replacement / S. Shimose, T. Sugita, T. Kubo [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2005. — Vol. 439. — P. 176–180. — DOI: 10.1097/01.blo.0000176150.16509.33.
- Total knee replacement versus osteochondral allograft in proximal tibia bone tumours / M. Colangeli, D. Donati, M. G. Benedetti [et al.] // *International Orthopaedics*. — 2007. — Vol. 31 (6). — P. 823–829. — DOI: 10.1007/s00264-006-0256-y.
- Comparison of two methods of reconstruction for primary malignant tumors at the knee: a sequential cohort study / J. S. Wunder, K. Leitch, M. Griffin [et al.] // *The Journal of Surgical Oncology*. — 2001. — Vol. 77 (2). — P. 89–99. — DOI: 10.1002/jso.1076.
- Continuity and function of patellar tendon host-donor suture in tibial allograft / M. A. Ayerza, L. A. Aponte-Tinao, E. Abalo, D. L. Muscolo // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2006. — Vol. 450. — P. 33–38. — DOI: 10.1097/01.blo.0000229291.21722.b5.
- Optimizing the use of local muscle flaps for knee megaprosthesis coverage / H. Chim, B. K. Tan, M. H. Tan [et al.] // *Annals of Plastic Surgery*. — 2007. — Vol. 59 (4). — P. 398–403. — DOI: 10.1097/01.sap.0000258955.27987.17.
- El-Sherbiny M. Pedicled gastrocnemius flap: clinical application in limb sparing surgical resection of sarcoma around the knee region and popliteal fossa / M. El-Sherbiny // *Journal of the Egyptian National Cancer Institute*. — 2008. — Vol. 20 (2). — P. 196–207.
- Soft tissue reconstruction of megaprotheses using a trevira tube / G. Gosheger, A. Hillmann, N. Lindner [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2001. — Vol. 393. — P. 264–271. — DOI: 10.1097/00003086-200112000-00030.
- A functional analysis of massive knee replacement after extra-articular resections of primary bone tumors / S. J. Kendall, G. C. Singer, T. W. Briggs, S. R. Cannon // *The Journal of Arthroplasty*. — 2000. — Vol. 15 (6). — P. 754–760. — DOI: 10.1054/arth.2000.8104.
- Analysis of the efficacy and prognosis of limb-salvage surgery for osteosarcoma around the knee / P. X. Tan, B. C. Yong, J. Wang [et al.] // *European Journal of Surgical Oncology*. — 2012. — Vol. 38 (12). — P. 1171–1177. — DOI: 10.1016/j.ejso.2012.07.003.
- Titus V. Protecting a patellar ligament reconstruction after proximal tibial resection: a simplified approach / V. Titus, M. Clayer // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2008. — Vol. 466. — P. 1749–1754. — DOI: 10.1007/s11999-008-0239-y.
- Wang T. Y. Soft-tissue optimization of limb salvage with knee endoprosthesis: the 10-year experience at the Children's Hospital of Philadelphia / T. Y. Wang, J. P. Dormans, B. Chang // *Annals of Plastic Surgery*. — 2012. — Vol. 69 (5). — P. 560–564. — DOI: 10.1097/SAP.0b013e3182223d5b.
- Наследов А. SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов. — СПб: Питер, 2011. — 400 с.
- Вирва О. Е. Модульне ендопротезування проксимального відділу великогомілкової кістки в разі гігантоклітинної пухлини / О. Е. Вирва, І. О. Скорик // *Ортопедия, травматология и протезирование*. — 2019. — № 1. — С. 72–77. — DOI: 10.15674/0030-59872019172-77.
- Soft tissue reconstruction of megaprotheses using a Trevira tube / G. Gosheger, A. Hillmann, N. Lindner [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2001. — Vol. 393. — P. 264–271. — DOI: 10.1097/00003086-200112000-00030.
- Function of the extensor mechanism of the knee after using the «patellar-loop technique» to reconstruct the patellar tendon when replacing the proximal tibia for tumour / H. Pilge, B. M. Holzzapfel, H. Rechl [et al.] // *The Bone & Joint Journal*. — 2015. — Vol. 97-B (8). — P. 1063–1069. — DOI: 10.1302/0301-620x.97b8.35440.

19. Аналіз ускладнень модульного ендопротезування проксимального відділу великогомілкової кістки / О. С. Вирва, І. О. Скорик, І. В. Шевченко [та ін.] // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2019. — № 2. — С. 67–73. — DOI: 10.15674/0030-59872019267-73.
20. Вирва О. Е. Реконструкция мягких тканей при модульном мегаэндопротезировании у больных со злокачественными опухолями костей / О. Е. Вирва // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2008. — № 4. — С. 54–61.
21. Вирва О. Є. Модульне індивідуальне ендопротезування в лікуванні злоякісних пухлин довгих кісток : автореф. дис. ... д-ра мед. наук ; 14.01.21 / О. Є. Вирва. — Київ, 2013. — 43 с.
22. What Are the long-term results of MUTARS® modular endoprotheses for reconstruction of tumor resection of the distal femur and proximal tibia? / M. P. Bus, M. A. van de Sande, M. Fiocco [et al.] // Clinical Orthopaedics and Related Research. — 2017. — Vol. 475 (3). — P. 708–718. — DOI: 10.1007/s11999-015-4644-8.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2019

---

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE PATELLAR TENDON FIXATION STRENGTH AFTER ITS RECONSTRUCTION

O. Ye. Vyrva, I. O. Skoryk, M. Yu. Karpinsky, O. D. Karpinska

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

✉ Oleg Vyrva, MD, Prof. in Traumatology and Orthopaedics: dr.olegvyrva@gmail.com

✉ Ivan Skoryk: vanyaskorik@gmail.com

✉ Mykhaylo Karpinsky: korab.karpinsky9@gmail.com

✉ Olena Karpinska: helen.karpinska@gmail.com