

**КОРРЕЛЯЦИЯ КТ- И РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОЖЕНИЯ
НАДКОЛЕННИКА И РОТАЦИИ БЕДРЕННОЙ КОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С
ДИСПЛАСТИЧЕСКИМ ГОНАРТРОЗОМ III СТАДИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ
ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА**

**Ел Касеер М. Х. ORCID ID 0009-0006-0946-1024,
Малышев Е. Е. ORCID ID 0000-0001-7227-6979,
Зыкин А. А. ORCID ID 0000-0002-6321-3631,
Соколовский Е. В. ORCID ID 0009-0006-1521-9955,
Горбатов Р. О. ORCID ID 0000-0001-6964-1015,
Алыев Р. В. ORCID ID 0000-0002-0263-4539**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской
Федерации, Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: mohammadelqaseer96@mail.ru*

Эндопротезирование коленного сустава является одной из самых распространенных ортопедических операций, выполняемой по поводу гонартроза III стадии. Коленный сустав представляет собой сложную анатомическую структуру, обеспечивающую опороспособность нижней конечности, возможность движений и стабильность при осевых и сдвигающих нагрузках, возникающих при передне-заднем и медиально-латеральном отклонениях. Визуализация играет важную роль в диагностике и лечении гонартроза. Оценка изображений может помочь в принятии решений о консервативном или оперативном лечении. Цель. Провести корреляционный анализ рентгенологических индексов высоты надколенника и угла между трансэпикондиллярной и задней мышечковой линиями, определяемыми по данным компьютерной томографии, у пациентов с диспластическом гонартрозом III стадии при планировании тотального эндопротезирования коленного сустава. В ретроспективном клиническом исследовании были проанализированы данные 104 пациентов со средним возрастом $57,9 \pm 13,7$ года с диагнозом «диспластический гонартроз III стадии». Всем пациентам в предоперационном периоде выполнены инструментальные обследования: рентгенография в двух проекциях и компьютерная томография (КТ). Статистический анализ выявил значимые корреляции между основными измеряемыми параметрами (данные рентгенографии в сагиттальной плоскости и данными КТ), что указывает на статистически значимую взаимосвязь между предоперационными значениями и может служить дополнительным ориентиром при предоперационной оценке. При этом не было обнаружено корреляций между параметрами во фронтальной и сагиттальной плоскостях (включая вальгусную деформацию) и параметрами, полученными с помощью КТ.

Ключевые слова: тотальное эндопротезирование, коленный сустав, ротационное положение, компоненты эндопротеза.

**CORRELATION OF CT AND RADIOGRAPHIC PARAMETERS OF PATELLAR POSITION
AND FEMORAL ROTATION IN PATIENTS WITH STAGE III DYSPLASTIC
GONARTHROSIS DURING PLANNING FOR TOTAL KNEE ARTHROPLASTY**

**EI Kaseer M. K. ORCID ID 0009-0006-0946-1024,
Malyshev E. E. ORCID ID 0000-0001-7227-6979,
Zykin A. A. ORCID ID 0000-0002-6321-3631,
Sokolovskiy S. E. ORCID ID 0009-0006-1521-9955,
Gorbatov R. O. ORCID ID 0000-0001-6964-1015,
Alyev R. V. ORCID ID 0000-0002-0263-4539**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Privolzhsky Research Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod,
Russian Federation, e-mail: mohammadelqaseer96@mail.ru*

Knee arthroplasty is one of the most common orthopedic surgeries performed to replace damaged or destroyed knee joint components with artificial prostheses. The knee joint is a complex anatomical structure that provides support, motion, and stability under heavy loads along the limb axis and shear loads that occur with anteroposterior and medial-lateral deviations. Imaging plays a crucial role in the diagnosis and treatment of knee arthritis. Imaging evaluation can assist in decisions regarding conservative or surgical treatment. To conduct a correlation analysis of the X-ray indices of patellar height and the angle between the transepicondylar and posterior condyle lines, determined by computed tomography, in patients with stage III dysplastic knee arthrosis when planning total knee arthroplasty. A retrospective clinical study analyzed data from 104 patients with a mean age of 57.9 ± 13.7 years diagnosed with stage III arthritis with high patella position. All patients underwent diagnostic imaging during the preoperative period: X-rays in two views and computed tomography (CT). Statistical analysis revealed significant correlations between the main measured parameters (sagittal plane radiography and CT data). This indicates a statistically significant relationship between preoperative assessments and the actual anatomical results of postoperative alignment. However, no correlations were found between frontal and sagittal planes parameters (valgus deformation) and CT parameters.

Keywords: total arthroplasty, knee joint, rotational position, components of the endoprosthesis.

Введение

Тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) относится к числу наиболее частых ортопедических операций, его целью является замещение повреждённых структур коленного сустава искусственным имплантатом. Данное вмешательство является высокоэффективным для устранения болевого синдрома и восстановления мобильности у пациентов с гонартрозом III стадии. Достижение оптимальных отдалённых результатов ТЭКС обусловлено не только успешной артропластикой, но и точностью установки эндопротеза [1]. Особое значение при этом придаётся ротационному выравниванию компонентов: положение бедренного компонента в трёхмерном пространстве оказывает непосредственное влияние на биомеханику походки, риск нестабильности пателлофemorального сочленения и течение реабилитационного периода [2-4].

Значимость точного определения ротации бедренного компонента подтверждена клиническими данными. В исследовании М. Akagi и соавт., при установке бедренного компонента в наружной ротации $3-5^\circ$ частота латерального релиза составила 6%, тогда как при нейтральном положении компонента - 34%; кроме того, трекинг надколенника в группе наружной ротации был статистически значимо лучше. По данным послеоперационной КТ в этом же исследовании, средний угол между задней мышечковой и трансэпикондиллярной осями составил $3,2^\circ$ в группе наружной ротации и $7,9^\circ$ в группе нейтрального позиционирования, что подчёркивает клиническую ценность томографической оценки ротационных параметров [5].

Выбор метода визуализации для предоперационного планирования имеет принципиальное значение. В обзоре N. Sodhi и соавт., посвящённом роли компьютерной томографии при артропластике коленного сустава, было доказано, что КТ точнее стандартной рентгенографии при оценке костных деформаций и состояния пателлофemorального отдела. Авторы также указали,

что КТ позволяет с точностью до 99% прогнозировать размер компонентов эндопротеза на дооперационном этапе, что обосновывает её использование в качестве референтного метода при анализе ротационных взаимоотношений в коленном суставе [6].

Вместе с тем стандартная рентгенография остаётся наиболее доступным и рутинно применяемым методом обследования, а оценка высоты надколенника по индексам Insall–Salvati, Caton–Deschamps и Blackburne–Peel широко используется при анализе пателлофemorальных взаимоотношений. Систематический обзор А. Е. White и соавт. показал, что среднее объединённое значение индекса Insall–Salvati у пациентов с нестабильностью надколенника составило 1,31, тогда как в контрольной группе - 1,14; при этом для индекса Caton–Deschamps статистически значимых различий между группами не получено. Кроме того, именно для индекса Insall–Salvati во всех включённых исследованиях показатели межнаблюдательной согласованности были выше 0,75, что свидетельствует о разной диагностической ценности отдельных рентгенологических индексов [7].

К ведущим костно-морфологическим предикторам пателлофemorальной нестабильности относятся: высокое положение надколенника, дисплазия блока бедренной кости, повышенный латеральный наклон надколенника и увеличенное расстояние «бугристость большеберцовой кости - блок бедренной кости» (ТТ-TG) [8; 9].

Патология patella alta, характеризующаяся аномально высоким положением надколенника, ассоциируется с развитием нестабильности надколенника и возникновением болевого синдрома в переднем отделе коленного сустава [10]. Увеличение высоты стояния надколенника может способствовать улучшению сгибания и снижению риска боли в коленном суставе [11]. Кроме того, имеется обратная корреляция между показателем РРТА (Patella-patellar tendon angle) и индексом Blackburne–Peel [12].

Несмотря на клиническую значимость рентгенологических индексов высоты надколенника и КТ-оценки ротационных параметров дистального отдела бедренной кости, вопрос о наличии и выраженности взаимосвязи между этими показателями у пациентов с диспластическим гонартрозом III стадии остается изученным недостаточно. Выявление подобных корреляций может иметь практическое значение для комплексной предоперационной оценки коленного сустава и уточнения ориентиров, используемых при планировании тотального эндопротезирования коленного сустава.

В связи с этим представляется актуальным изучение корреляционных связей между рентгенологическими индексами высоты надколенника и КТ-характеристиками ротации дистального отдела бедренной кости у данной категории пациентов.

Цель исследования

Провести корреляционный анализ рентгенологических индексов высоты надколенника, а также угла между трансэпикондилярной и задней мышцелковой линиями, определяемыми по данным компьютерной томографии, у пациентов с диспластическим гонартрозом III стадии при планировании тотального эндопротезирования коленного сустава.

Материалы и методы исследования

В ретроспективном клиническом исследовании были проанализированы данные 104 пациентов, которым в Институте травматологии и ортопедии Приволжского исследовательского медицинского университета за период с 2023 по 2025 г. выполнено тотальное эндопротезирование коленного сустава по поводу диспластического гонартроза III стадии. Средний возраст больных составил $57,9 \pm 13,7$ года. Среди них было 30 (28,8%) мужчин и 74 (71,2%) женщины.

Критерии включения в исследование: диспластический гонартроз III стадии, наличие результатов инструментальных обследований, выполненных в предоперационном периоде (рентгенография в двух проекциях и КТ), подписанное информированное согласие на участие в исследовании. Критерии исключения: инфекционно-воспалительные заболевания, наличие в анамнезе оперативных вмешательств на коленном суставе.

Рентгенографическое исследование выполнялось в стандартной передне-задней и боковой проекциях с захватом дистального отдела бедра и проксимального отдела большеберцовой кости. КТ-исследование проводилось на мультиспиральном томографе с толщиной среза 0,625 мм в положении пациента лежа на спине с полным разгибанием в суставах нижней конечности. При анализе данных рентгенографии были определены индексы высокого стояния надколенника (Insall-Savatti index, modified Insall-Savatti index, Blackburne-Peel, Caton-Deschamps index). По результатам компьютерной томографии был определен угол, образованный трансэпикондилярной и задней мышцелковой линией. Измерения проводились в аксиальной проекции на уровне дистального отдела бедренной кости с использованием мультипланарной реконструкции.

Для проведения статистического анализа данные вносили в электронную таблицу Microsoft Excel 2010 (Microsoft). Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics. Для выявления линейной корреляции использовали коэффициент корреляции Пирсона после предварительной проверки распределения на нормальность с помощью критерия Шапиро - Уилка. Статистически значимыми признавали различия при уровне статистической значимости $p < 0,05$.

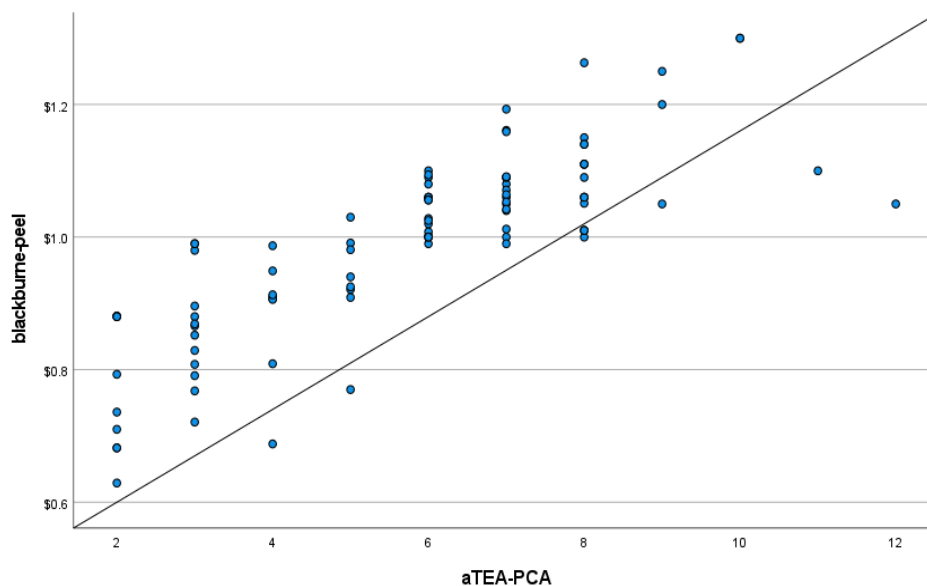
Результаты исследования и их обсуждение

Статистический анализ выявил значимые положительные корреляции между рядом рентгенологических индексов высоты надколенника и КТ-параметром ротации дистального отдела бедренной кости. Наиболее высокая корреляционная связь установлена для индекса Blackburne-Peel ($r = 0,824$; $p < 0,05$), степень корреляции – высокая (табл., рис.), тогда как для остальных анализируемых индексов сила связи была ниже. Корреляций между параметрами фронтальной плоскости, включая вальгусную деформацию, и КТ-показателями не выявлено.

Результаты корреляционного анализа

		Заднее мышцелковое линии - Трансэпикон дулярный линии угол	Insall- savatti index	Modified Insall- savatti index	Blackburn e-peel	Caton deschamps index
Заднее мышцелковое линии - Трансэпикондуля рный линии угол	Корреляция Пирсона	1	0,386	0,288	0,824	0,342
	знач. (двухсторонняя)	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001
	N	98	98	98	98	98
Insall-savatti index	Корреляция Пирсона	0,386	1	0,492	0,437	0,401
	знач. (двухсторонняя)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	98	98	98	98	98
Modified Insall- savatti index	Корреляция Пирсона	0,288	0,492	1	0,364	0,564
	знач. (двухсторонняя)	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	98	98	98	98	98
Blackburne-peel	Корреляция Пирсона	0,824	0,437	0,364	1	0,505
	знач. (двухсторонняя)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	98	98	98	98	98
Caton deschamps index	Корреляция Пирсона	0,342	0,401	0,564	0,505	1
	знач. (двухсторонняя)	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	98	98	98	98	98

Примечание. Корреляция значима, $p < 0,05$. Составлен авторами по результатам данного исследования.



*Линейная зависимость индекса Blackburne-Peel с углом, образованным трансэпикондилярной линией и задней мыщелковой линией.
Составлено авторами по результатам данного исследования*

Установленная высокая корреляционная связь между индексом Blackburne–Peel и углом между трансэпикондилярной и задней мыщелковой линиями по данным компьютерной томографии ($r = 0,824$, $p < 0,05$) свидетельствует о возможности использования данного показателя в качестве дополнительного рентгенологического ориентира при комплексной оценке ротационных взаимоотношений в коленном суставе. Полученные данные могут быть использованы практическими врачами для более обоснованной интерпретации результатов стандартной рентгенографии и определения необходимости углублённой томографической оценки у пациентов с изменёнными пателлофemorальными взаимоотношениями. Применение индекса Blackburne–Peel в составе предоперационного лучевого обследования способствует повышению информативности доступных методов визуализации и может быть полезно при планировании ротационного позиционирования бедренного компонента эндопротеза. При этом результаты исследования не дают оснований рассматривать рентгенографию как альтернативу компьютерной томографии, а подтверждают целесообразность их комплексного применения в клинической практике.

В исследовании было выявлено, что индекс Blackburne–Peel является наиболее информативным среди изученных рентгенологических параметров при оценке связи с ротационной деформацией дистального отдела бедренной кости. Данный факт может быть

обусловлен не только анатомической значимостью самого показателя, но и его более высокой воспроизводимостью по сравнению с другими индексами высоты надколенника. Ключевым преимуществом индекса Blackburne–Peel является универсальность: метод остается информативным независимо от степени сгибания коленного сустава, антропометрических особенностей, уровня оссификации и конфигурации верхнего или нижнего полюса надколенника. Аналогичные результаты были получены в исследовании Berg E. E. с соавторами [13], где сравнивались четыре метода измерения высоты надколенника на серии боковых рентгенограмм: именно метод Blackburne–Peel наиболее последовательно воспроизводил индекс высоты надколенника, а межнаблюдательная ошибка измерения в среднем составляла 0,06. Следовательно, выявленная в работе наиболее сильная корреляция именно для Blackburne–Peel может отражать не только клиническую, но и методическую состоятельность этого показателя как рентгенологического ориентира.

В исследовании Yamashita и соавт. (2023) все четыре метода (Insall-Salvati (IS), Blackburne-Peel (BP), Caton-Deschamps (CD), modified IS (mIS)) обладают хорошей воспроизводимостью, однако при прогнозировании рецидивирующего вывиха надколенника наибольшую диагностическую эффективность продемонстрировал modified Insall–Salvati, тогда как для Blackburne–Peel площадь под ROC-кривой составила 0,72. Вероятно, указанное расхождение объясняется различием исследуемых конечных точек, поскольку в данной работе оценивалась связь рентгенологических индексов с КТ-ротацией дистального отдела бедренной кости при планировании тотального эндопротезирования, тогда как Yamashita и соавт. анализировали прогностическую ценность этих индексов в отношении рецидивирующей нестабильности надколенника [14].

Полученные авторами данные также указывают, что изменения высоты надколенника имеют непосредственное отношение к пателлофemorальной биомеханике, а значит, могут быть связаны с параметрами, значимыми для предоперационного планирования тотального эндопротезирования коленного сустава. Это согласуется с результатами, полученными в работе Tischer T. с соавторами [15], которые доказали, что при patella alta с отношением Blackburne–Peel 1,1 нагрузка на пателлофemorальный сустав была выше на 16% по сравнению с нормальной высотой надколенника (BP=0,65) и на 25% больше по сравнению с patella baja (BP=0,39); кроме того, patella alta сопровождалась большим латеральным наклоном надколенника более чем на 4° и увеличением его ротации до 3° при глубоком сгибании в коленном суставе. Таким образом, рентгенологические показатели высоты надколенника, особенно Blackburne–Peel, способны

отражать не только морфологические, но и функционально значимые особенности пателлофemorального взаимодействия, что делает их клинически важными в контексте оценки ротационных взаимоотношений.

Заключение

В результате проведённого исследования у пациентов с диспластическим гонартрозом III стадии выявлены статистически значимые положительные корреляции между рентгенологическими индексами высоты надколенника и углом между трансэпикондилярной и задней мышечковой линиями по данным компьютерной томографии. Наиболее высокая корреляция установлена для индекса Blackburne–Peel ($r = 0,824$, $p < 0,05$), тогда как для индексов Insall–Salvati, modified Insall–Salvati и Caton–Deschamps выявлены менее выраженные корреляционные зависимости.

Полученные данные подтверждают целесообразность комбинирования применения рентгенографии и КТ на этапе предоперационного планирования. Это не только позволяет оценить высоту стояния надколенника, но и может служить дополнительным ориентиром при предоперационной оценке. Особую значимость такой подход приобретает у пациентов с диспластическими изменениями и исходной нестабильностью пателлофemorального сочленения. Внедрение полученных в исследовании количественных корреляционных зависимостей в клиническую практику может способствовать снижению частоты послеоперационных осложнений и улучшению функциональных исходов эндопротезирования.

Список литературы

1. Горбатов Р. О., Малышев Е. Е., Романов А. Д., Карякин Н. Н. Тотальное эндопротезирование коленного сустава с использованием виртуального прототипирования и аддитивных технологий // Современные технологии в медицине. 2018. № 3. С. 146-154. DOI: 10.17691/stm2018.10.3.18.
2. Cho Y., Lee M. C. Rotational alignment in total knee arthroplasty // Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology 2014; 1(4): 113–118. DOI: 10.1016/j.asmart.2014.08.001.
3. Varacallo M., Luo T. D., Mabrouk A., Johanson N. A. Total knee arthroplasty techniques [Updated 2024 May 6]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2024. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499896>.

4. Alrawashdeh W., Eschweiler J., Migliorini F., El Mansy Y., Tingart M., Rath B. Effectiveness of total knee arthroplasty rehabilitation programmes: a systematic review and meta-analysis // *J Rehabil Med* 2021; 53(6): jrm00200. DOI: 10.2340/16501977-2827.
5. Akagi M., Matsusue Y., Mata T., Asada Y., Horiguchi M., Iida H., Nakamura T. Effect of rotational alignment on patellar tracking in total knee arthroplasty // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1999. № 366. P. 155–163. DOI: 10.1097/00003086-199909000-00019.
6. Sodhi N., Jacofsky D. J., Chee A., Mont M. A. Benefits of CT Scanning for the Management of Knee Arthritis and Arthroplasty // *The Journal of Knee Surgery*. 2021. Vol. 34. № 12. P. 1296–1303. DOI: 10.1055/s-0040-1708041.
7. White A. E., Otlans P. T., Horan D. P., Calem D. B., Emper W. D., Freedman K. B., Tjounmakaris F. P. Radiologic Measurements in the Assessment of Patellar Instability: A Systematic Review and Meta-analysis // *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2021. 9(5):2325967121993179. DOI: 10.1177/2325967121993179.
8. Dejour D. H, Mesnard G., Giovannetti de Sanctis E. Updated treatment guidelines for patellar instability: "un menu à la carte" // *J. Exp Orthop*. 2021 Nov 26;8(1):109. DOI: 10.1186/s40634-021-00430-2. PMID: 34837157; PMCID: PMC8626553 URL: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40634-021-00430-2>.
9. Dietrich T. J, Fucentese S. F, Pfirrmann C. W. Imaging of Individual Anatomical Risk Factors for Patellar Instability // *Semin Musculoskelet Radiol*. 2016 Feb;20(1):65-73. DOI: 10.1055/s-0036-1579675. PMID: 27077588. URL: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0036-1579675>.
10. Jones R. H, Lijesen E., Green D. W. What's up with patella alta? *Curr Opin Pediatr*. 2025 Feb 1;37(1):82-87. DOI: 10.1097/MOP.0000000000001428. PMID: 39699105. URL: https://journals.lww.com/co-pediatrics/fulltext/2025/02000/what_s_up_with_patella_alta_.15.aspx.
11. Sambri A., Paganelli C., Parisi S. C., Filippini M., Cevolani L., Stimolo D., Bortoli M., Guarino A., Bruschi A., Fiore M., Campanacci D. A, Donati D. M, De Paolis M. Does Patellar Height Influence Range of Motion and Anterior Knee Pain after Distal Femur Endoprosthesis Reconstruction? // *J Clin Med*. 2024 Jul 18;13(14):4194. DOI: 10.3390/jcm13144194. PMID: 39064234; PMCID: PMC11277792 URL: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/14/4194>.
12. Mortensen A. J, Ludwig T. C, Adams B. M, Adeyemi T. F, Aoki S. K. The Blackburne-Peel Index for Determining Patellar Height Is Affected by Tibial Slope // *Arthrosc Sports Med Rehabil*. 2021;3(2):e359-e365. DOI: 10.1016/j.asmr.2020.09.026. PMID: 34027443. PMCID: PMC8129056. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666061X20301577>.

13. Berg E. E., Mason S. L., Lucas M. J. Patellar height ratios. A comparison of four measurement methods // *Am J. Sports Med.* 1996;24(2):218-21. DOI: 10.1177/036354659602400218. PMID: 8775124.
14. Yamashita S., Ishizuka S., Sakai T., Oba H., Sakaguchi T., Mizuno T., Kawashima I., Tsukahara T., Takahashi S., Kurokouchi K., Imagama S. Potential of patellar height measurement methods in predicting recurrent patellar dislocation incidence: a case-control study // *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2023. Vol. 24. Art. 707. DOI: 10.1186/s12891-023-06813-z.
15. Tischer T., Geier A., Lutter C., Enz A., Bader R., Keppach M. Patella height influences patellofemoral contact and kinematics following cruciate-retaining total knee replacement. *J. Orthop Res.* 2023;41(4):793-802. DOI: 10.1002/jor.25425. PMID: 35949157.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.