

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕУДОВЛЕТВОРЁННОСТИ ПАЦИЕНТОВ ПЕРВИЧНЫМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЕМ КОЛЕННОГО СУСТАВА

Герасенкова А.Д.<sup>1</sup>, Орлецкий А.К.<sup>1</sup>, Шумский А.А.<sup>1</sup>, Крылов С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение Министерства здравоохранения Российской Федерации «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова», Москва, e-mail: nastennmodelmay@mail.ru

В данной статье приводится обзор литературных данных, посвященных проблеме технологий, используемых для лечения пациентов с применением эндопротезирования коленного сустава, их эффективности и влияния на клинические проявления, качество жизни и удовлетворенность пациентов результатом оперативного лечения остеоартроза коленного сустава. Многочисленные мнения исследователей, основанные на результатах их клинических наблюдений, сходятся в эффективности первичного эндопротезирования коленного сустава. В настоящее время все активнее используются роботизированные методы хирургического лечения, которые показывают свою эффективность в клинических исследованиях. Использование современных технологий в практике эндопротезирования приводит к улучшению рентгенологических результатов. Новые технологии эндоскопического лечения коленного сустава имеют некоторые преимущества по сравнению со стандартной методикой, однако они предполагают значительные дополнительные затраты на установку и техническое обслуживание, повышенную лучевую нагрузку на пациента и увеличение времени работы, проводимой на этапе обучения. В связи с этим для активного внедрения их в клиническую практику необходимо дальнейшее изучение таких методов с использованием большей по объему выборки, наблюдением за функциональными результатами и сохранностью имплантатов, осложнениями и экономической эффективностью.

Ключевые слова: эндопротезирование, коленный сустав, остеоартроз, результат, компьютерная навигация.

## MODERN TECHNOLOGIES USED TO SOLVE THE PROBLEM OF PATIENT DISSATISFACTION WITH PRIMARY KNEE ARTHROPLASTY

Gerasenkova A.D.<sup>1</sup>, Orletskiy A.K.<sup>1</sup>, Shumskiy A.A.<sup>1</sup>, Krylov S.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal state budgetary institution of the Ministry of Health of the Russian Federation. National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov, Moscow, e-mail: nastennmodelmay@mail.ru

This article provides a review of the literature on the problem of technologies used to treat patients with knee arthroplasty, their effectiveness and impact on clinical manifestations, quality of life and patient satisfaction with the result of surgical treatment of knee osteoarthritis. Numerous opinions of researchers, based on the results of their clinical observations, agree on the effectiveness of primary knee replacement. Currently, robotic methods of surgical treatment are increasingly being used, which show their effectiveness in clinical studies. The use of modern technologies in arthroplasty practice leads to improved radiographic results. New technologies for endoscopic treatment of the knee have some advantages over standard techniques, but they involve significant additional installation and maintenance costs, increased radiation exposure to the patient, and increased training time. In this regard, for their active introduction into clinical practice, it is necessary to further study such methods using a larger sample size, monitoring the functional results and safety of implants, complications and cost-effectiveness.

Keywords: endoprosthesis, knee joint, osteoarthritis, computer navigation, result.

По данным исследования Centers for Disease Control and Prevention, остеоартроз (ОА) является основной причиной боли и нетрудоспособности взрослого населения в мире. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, более 40% лиц пожилого возраста страдают ОА, около 80% больных имеют различные ограничения подвижности, а каждый четвертый больной не может осуществлять повседневную деятельность [1]. На 1-м

месте по частоте поражения находится тазобедренный сустав (42,7%), на 2-м – коленный сустав (КС; 34,3%), на 3-м – плечевой сустав (10,8%).

Операция первичного эндопротезирования коленного сустава (ПЭКС) рассматривается как метод лечения для пациентов с неэффективной консервативной терапией, у которых сохраняются боль, ограничение движений в суставе, нарушение опорной функции нижней конечности. По данным Национального института здоровья США, ПЭКС способствует быстрому и значительному облегчению боли у пациента, улучшению функционального состояния и качества жизни в связи с изменением состояния здоровья примерно у 90% пациентов.

По данным разных авторов, 55-65% больных гонартрозом, перенесших эндопротезирование, были младше 60 лет. По мере совершенствования методик и способов диагностики признаки гонартроза все чаще обнаруживают у лиц молодого и среднего возраста – занимающихся спортом, ведущих активную трудовую деятельность. Быстрое прогрессирование болезни, неадекватное и несвоевременно начатое лечение нередко приводит к инвалидности. Тем не менее ПЭКС не способно вернуть возможность заниматься полноценно спортом после операции [2]. Реальная картина жизни после ПЭКС заключается в способности выполнять обычную повседневную работу.

По мере усовершенствования конструкций эндопротезов КС и инструментов для их установки, а также техники хирургического вмешательства отмечается тенденция к снижению количества осложнений, однако около 20% пациентов не окончательно удовлетворены результатами операции [3]. Такой неблагоприятный результат значительно отличается от тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, после которого результатами не окончательно удовлетворены в среднем 9% пациентов [4].

Неудовлетворенность пациентов связана с такими факторами, как остаточный болевой синдром и тугоподвижность КС после операции. Полного устранения болевого синдрома после ПЭКС ожидают 85% пациентов, в то время как этого удается достигнуть только у 43% прооперированных [5].

Успех ПЭКС зависит от восстановления его биомеханики, по возможности – близкой к норме, и баланса мягких тканей, не сопровождающихся значительной адаптационной перестройкой кости [6].

Современные пути решения проблемы неудовлетворенности ПЭКС включают: стремление к минимизации резекции костной ткани, возможность восстановления движений согласно биомеханике нативного КС [7-9].

Среди наиболее перспективных и современных технологий, на данный момент не вошедших в рутинную практику ПЭКС, можно выделить использование компьютерной

навигации (КН), индивидуальных опилочных блоков (ИБ) и компонентов (ИК), роботизированных систем (РС).

Использование КН при ПЭКС впервые было введено в 1990-х годах с целью повышения точности опилов кости и улучшения клинического эффекта [10]. Хотя частота использования данных систем возросла в течение последних 20 лет, особенно у пациентов с экстраартикулярными деформациями, они не смогли вытеснить традиционные оперативные вмешательства по нескольким причинам. К ним относятся увеличение продолжительности наложения артериального турникета, дополнительная лучевая нагрузка на пациента, но основное – это увеличение стоимости оперативного вмешательства.

Что касается положения компонентов эндопротеза, Kim S.J. et al. показали, что компьютерная навигация улучшает фронтальное выравнивание при ПЭКС. Во время исследования 147 ПЭКС послеоперационное положение компонентов определялось с помощью панорамных рентгенограмм. Было обнаружено, что у 78% больных после ПЭКС с использованием КН положение компонентов было в пределах  $2^\circ$  от нейтральной механической оси по сравнению с 58% в группе больных с традиционными оперативными вмешательствами. Дальнейший метаанализ подтверждает выводы о том, что КН улучшает стояние имплантатов по сравнению с традиционными методами вмешательства [11].

В проспективном исследовании двустороннего одновременного ПЭКС Weng Y.J. et al. выявили улучшение механического выравнивания оси нижней конечности при выполнении ПЭКС с использованием КН. Также было обнаружено, что кровопотеря во время ПЭКС с компьютерной навигацией была существенно меньше по сравнению с традиционной техникой, но время операции при применении КН было существенно большим, и время использования турникета было увеличено на 21 минуту [12].

Поскольку при ПЭКС важны положение компонентов эндопротеза и восстановление механической оси нижней конечности, ортопеды предполагают улучшение функциональных послеоперационных результатов для обоснования дополнительных затрат на проведение операции с КН. В литературе продолжается дискуссия по поводу наличия функциональных преимуществ у больных после ПЭКС с КН. В своей работе Harvie P. et al. исследовали 5-летние последствия у 46 больных после ПЭКС с применением КН и традиционной техники ПЭКС. У больных после ПЭКС с применением КН положение компонентов на рентгенограммах было существенно лучше, но уровень удовлетворения больных и функциональная оценка коленного сустава были одинаковы в обеих группах пациентов [13].

В другом исследовании Seon J.K. et al. выявили улучшение соотношения сгибательных и разгибательных промежутков в группе больных, которым ПЭКС было проведено с КН, по сравнению с пациентами, которым было проведено ПЭКС традиционно. Однако

функциональная оценка коленного сустава у больных после ПЭКС была одинакова как при условии применения КН, так и без нее [14].

Также в другом рандомизированном исследовании сравнивались функциональные результаты у больных после ПЭКС с применением КН и без нее, результаты которого не показали статистически значимых различий [15]. Но работа Choong P.F. et al. продемонстрировала, что в группе больных после ПЭКС с применением КН получены рентгенологические результаты и оценки функции суставов лучше, чем у пациентов, которым выполнено традиционное ПЭКС [16].

В 2013 г. Burnett R.S.J. et al. выполнили метаанализ публикаций по результатам ПЭКС с КН и не выявили среднесрочных и долгосрочных преимуществ КН по улучшению функциональных результатов и уменьшению частоты ревизионных вмешательств. Незначительное количество публикаций в литературе обуславливает контroversионность взглядов на применение КН при ПЭКС. Необходимы дальнейшие исследования данной технологии ПЭКС [17].

Многие хирурги считали, что у компьютерной навигационной хирургии было слишком много недостатков, чтобы регулярно использовать эти системы. Они включали увеличение операционного времени, стоимости и проблем, относящихся к фиксации опорных базовых насадок на бедро и голень, сообщения о перипротезных переломах, поэтому были разработаны специальные блоки для резекции поверхности сустава, предварительно изготовленные на основе КТ-изображения, при этом КН осуществлялась вне операционной. Индивидуальный блок для резекции прикреплялся к кости пациента во время операции и теоретически обеспечивал параметры, специфичные для пациента. Данная технология предполагала сокращение операционного времени в сравнении с КН и при этом хорошее восстановление механической оси. В связи с небольшим количеством исследований не было получено достаточной доказательной базы для введения ИБ в рутинную практику ПЭКС [18].

Дальнейшее развитие компьютерных технологий в ПЭКС продемонстрировала компания Conformis, которая предложила на основе КТ-изображения индивидуальное изготовление феморального и тиббиального компонентов и двух (латеральной и медиальной) тиббиальных полиэтиленовых платформ. Несмотря на то, что данная технология является наиболее приближенной к нативному КС с учетом специфики конкретного больного [19; 20], введение ее в рутинную практику невозможно в связи со значительными дополнительными расходами на исследование КТ-изображений перед операцией, производство индивидуальных опилочных блоков и компонентов (часто в разы превышающими 1000 долл. США на случай).

Робот-ассистированные операции также были предложены для улучшения позиционирования компонентов, коррекции механической оси конечности, улучшения

условий трения на искусственных поверхностях для достижения длительного клинического результата [21].

Применение РС (роботизированных систем) для выполнения ПЭКС обладает рядом уникальных преимуществ, таких как возможность предоперационного планирования с использованием 3D-изображения оперируемого коленного сустава, постоянный контроль следования плану, доступный на всех этапах оперативного вмешательства. Использование РС способствует устранению в большей степени «человеческого фактора» и более точному позиционированию имплантата, что приводит к оптимальному выравниванию механической оси конечности [22; 23].

В своем проспективном рандомизированном исследовании Song E.K. et al., сравнив результаты 50 стандартно выполненных ПЭКС и 50 ПЭКС с применением РС, показали, что такие системы обеспечили улучшение точности механического выравнивания и способствовали уменьшению разброса ротации компонентов эндопротеза. Данные результаты привели к более точному следованию предоперационному плану и обусловили улучшение результатов лечения [24; 25].

На протяжении 6 месяцев Bernard N. et al. проводили анализ 115 ЭПКС с применением РС. В результате исследования не обнаружено нежелательных явлений, у 11,2% пациентов определили послеоперационное выравнивание конечности с отклонением от плана на  $\pm 3$  [26].

В своей работе Bellemans J. et al. оценивали результаты 25 ПЭКС, выполненных с использованием РС. Показано, что бедренный и большеберцовый компоненты эндопротеза во всех трех плоскостях располагались с отклонениями не более  $1^\circ$  от плана позиционирования [27].

Также при применении РС при ПЭКС снижается возможность ятрогенных повреждений мягких тканей во время выполнения костных опилов, обеспечивается более деликатное отношение к окружающим мягким тканям, что обуславливает значительное снижение возможного местного воспалительного ответа, уменьшает боль и снижает послеоперационные отеки по сравнению со стандартной методикой ПЭКС [27; 28].

В ретроспективном анализе Siebert W. et al., в котором сравнивались результаты 70 роботизированных и 50 традиционных ПЭКС, отмечается уменьшение послеоперационных отеков мягких тканей при использовании робот-ассистированных методов [29].

В проведенном исследовании Khan H. et al. оценили результаты 200 ЭПКС, 100 из которых выполняли с применением РС и 100 стандартных ПЭКС. Авторы отмечают сниженную на 23,7% кровопотерю при использовании РС, а также на 83% более низкие риски проведения гемотрансфузии, чем при применении стандартной техники [30].

В проспективном когортном исследовании Kayani B. et al. сравнивались ранние функциональные результаты 40 роботизированных и 40 традиционных ПЭКС. Показано, что использование РС приводило к снижению послеоперационной боли и потребности в анальгетиках, способствовало более быстрой активизации пациентов и их способности к самостоятельному поднятию прямой прооперированной ноги. Также в данной группе уже к завершению стационарного лечения достигался лучший угол сгибания в коленном суставе, отмечалось снижение потребности в стационарной физиотерапии [31]. При использовании РС среднее время госпитализации составляло 77 часов против 105 часов в группе стандартного ПЭКС [27; 31].

В исследовании Marchand R.C. et al., сравнивавшем результаты 28 ПЭКС с использованием РС и 20 стандартных ПЭКС, показано, что через 6 месяцев лучшие результаты показателей функций по шкале WOMAC, меньшее проявление боли и более высокая удовлетворенность пациентов операцией отмечались в группе роботизированных ПЭКС [32].

В проспективном нерандомизированном многоцентровом исследовании Khloras A. et al. приводятся данные о том, что при использовании РС ПЭКС (n=150) наблюдалась более ранняя активизация пациентов и более быстрое возвращение к активному двигательному режиму после вмешательства в сравнении со стандартными ПЭКС (n=102) [25; 27; 33].

Анализ коммерческих затрат при внедрении роботизированных систем, проведенный Steffens D. et al., показал, что при использовании КН значительно сокращалось время хирургических вмешательств, чем при РС операциях, при этом использование РС обуславливало большую вероятность выписки сразу на амбулаторное наблюдение после ПЭКС и не требовало продолжительной реабилитации. Ученые показали сопоставимость затрат при ПЭКС с помощью РС и КН, однако для выполнения ПЭКС с использованием КН необходимы большие первоначальные затраты на приобретение оборудования [34].

Ещё в одном исследовании авторы сравнили результаты 28 роботизированных ПЭКС и 20 стандартных ПЭКС и показали, что боль, удовлетворенность пациента и показатели физической функции на основании шкалы WOMAC были лучше в роботизированной группе на сроках через 6 месяцев после операции [32].

Рядом авторов проведено проспективное нерандомизированное многоцентровое исследование, сравнение 102 стандартных ПЭКС и 150 роботизированных ПЭКС. Было обнаружено, что после роботизированного ПЭКС пациенты активнее начинали ходить, стоять, быстрее возвращались к активному двигательному режиму на сроках через 4–6 недель и через три месяца после операции по сравнению со стандартным ПЭКС [33].

Ниже приведена сводная таблица результатов исследований применения КН при ПЭКС за 2002-2021 гг.

Результаты клинических исследований применения компьютерной навигации при полном эндопротезировании коленного сустава

Техника оперативного вмешательства	Компьютерная навигация	Индивидуальные опилочные блоки и компоненты	Роботизированные системы
Количество пациентов	263	30	425
Результат	<p>Способствует улучшению механического выравнивания оси нижней конечности, снижению кровопотери, улучшению соотношения сгибательных и разгибательных промежутков.</p> <p>Увеличиваются время операции и использования турникета, стоимость операции, число проблем, относящихся к фиксации опорных базовых насадок на бедро и голень, риск возникновения перипротезных переломов.</p> <p>Уровень удовлетворения больных и функциональная оценка коленного сустава такая же, как при стандартной операции</p>	<p>Предполагает сокращение операционного времени, хорошее восстановление механической оси конечности.</p> <p>В связи с небольшим количеством исследований не было получено достаточной доказательной базы для введения технологии в практику</p>	<p>Обеспечивают улучшение точности механического выравнивания, способствуют уменьшению разброса ротации компонентов эндопротеза, снижению риска ятрогенных повреждений мягких тканей во время выполнения костных опилов, возможного местного воспалительного ответа за счет более деликатного отношения к окружающим мягким тканям, выраженности боли, потребности в анальгетиках, выраженности послеоперационных отеков, кровопотери, рисков проведения гемотрансфузии, потребности в стационарной физиотерапии, более быстрой активизации пациентов и их способности к самостоятельному поднятию прямой прооперированной ноги, достижению лучшего угла сгибания в коленном суставе, лучшим результатам показателей функций по шкале WOMAC, более высокой удовлетворенности пациентов операцией.</p> <p>Высокая стоимость и длительность обучения</p>

На данный момент используются такие РС, как МАКО, Robodoc, THINK, Rosa, которые представляют собой как полностью автономные системы, так и полуавтоматизированные (роботизированная «рука»). Однако в незначительном количестве публикаций по применению роботизированной техники при ПЭКС нет статистически вероятных данных по улучшению функциональных результатов у больных после ПЭКС [25].

Необходимо отметить, что высокая стоимость РС и длительная кривая облучения делают их применение очень ограниченным даже в странах с хорошо развитой медициной.

### **Заключение**

Анализ специальной литературы показал, что современные методики ПЭКС имеют как плюсы, так и минусы в сравнении с рутинным методом. Их использование позволяет восстановить механическую ось и биомеханику КС, близкие к нативным. Наиболее перспективным направлением развития ПЭКС является робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава, так как оно способствует устранению «человеческого фактора» и позволяет контролировать точность выполнения оперативного вмешательства с момента предоперационного планирования до момента имплантации. Использование современных технологий в практике ПЭКС приводит к улучшению рентгенологических результатов, при этом статистически значимых улучшений клинических результатов не было выявлено. Несмотря на то, что все выше рассмотренные технологии имеют преимущества перед стандартной методикой ПЭКС, они предполагают значительные дополнительные затраты на установку и техническое обслуживание, дополнительную лучевую нагрузку на пациента и увеличение времени работы на этапе обучения. Поэтому для внедрения их в основную практику необходимо дальнейшее изучение с большей выборкой, наблюдением за функциональными результатами, выживаемостью имплантатов, осложнениями и экономической эффективностью.

### **Список литературы**

1. Yelin E., Weinstein S., King T. An update on the burden of musculoskeletal diseases in the U.S // *Semin Arthritis Rheum*. 2019. Vol. 49. Is. 1. P. 1-2. DOI: 10.1016/j.semarthrit.2019.04.010.
2. Witjes S., Gouttebarghe V., Kuijer P.P., van Geenen R.C., Poolman R.W., Kerkhoffs G.M. Return to sports and physical activity after total and unicondylar knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis // *Sports Med*. 2016 Vol. 46. Is. 2. P. 269-292. DOI: 10.1007/s40279-015-0421-9.

3. Dunbar M.J., Richardson G., Robertsson O. I can't get no satisfaction after my total knee replacement: rhymes and reasons // *Bone Joint J.* 2013. Vol. 95-B. Suppl A. P. 148-152. DOI: 10.1302/0301-620X.95B11.32767.
4. Beswick A.D., Dennis J., Gooberman-Hill R., Blom A.W., Wylde V. Are perioperative interventions effective in preventing chronic pain after primary total knee replacement? A systematic review // *BMJ Open.* 2019. Vol. 9. Is. 9. P. e028093. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-028093.
5. Momoli A., Giarretta S., Modena M., Micheloni G.M. The painful knee after total knee arthroplasty: evaluation and management // *Acta Biomed.* 2017. Vol. 88. Is. 2S. P. 60-67. DOI: 10.23750/abm.v88i2-S.6515.
6. de Steiger R.N., Liu Y.L., Graves S.E. Computer navigation for total knee arthroplasty reduces revision rate for patients less than sixty-five years of age // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2015. Vol. 97. № 8. P. 635-642.
7. Cip J., Obwegeser F., Benesch T., Bach C., Ruckstuhl P., Martin A. Twelve-year follow-up of navigated computer-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a prospective randomized comparative trial // *J. Arthroplasty.* 2018. Vol. 33. Is. 5. P. 1404-1411. DOI: 10.1016/j.arth.2017.12.012.
8. Keyes B.J., Markel D.C., Meneghini R.M. Evaluation of limb alignment, component positioning, and function in primary total knee arthroplasty using a pinless navigation technique compared with conventional methods // *J. Knee Surg.* 2013. Vol. 26. Is. 2. P. 127-132.
9. Jones C.W., Jerabek S.A. Current role of computer navigation in total knee arthroplasty // *J. Arthroplasty.* 2018. Vol. 33. Is. 7. P. 1989-1993.
10. Delp S.L., Stulberg S.D., Davies B., Picard F., Leitner F. Computer assisted knee replacement // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1998. Vol. 354. P. 49-56.
11. Kim S.J., MacDonald M., Hernandez J., Wixson R.L. Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: improved coronal alignment // *J. Arthroplasty.* 2005. Vol. 20. Is. 7. Suppl. 3. P. 123-131.
12. Weng Y.J., Hsu R.W., Hsu W.H. Comparison of computer-assisted navigation and conventional instrumentation for bilateral total knee arthroplasty // *J. Arthroplasty.* 2009. Vol. 24. Is. 5. P. 668-673.
13. Harvie P., Sloan K., Beaver R.J. Computer navigation vs conventional total knee arthroplasty: five-year functional results of a prospective randomized trial // *J. Arthroplasty.* 2012. Vol. 27. Is. 5. P. 667-672.e1.
14. Moon Y.W., Kim H.J., Ahn H.S., Park C.D., Lee D.H. Comparison of soft tissue balancing, femoral component rotation, and joint line change between the gap balancing and measured resection

techniques in primary total knee arthroplasty: A meta-analysis // *Medicine (Baltimore)*. 2016. Vol. 95. Is. 39. P. e5006. DOI: 10.1097/MD.0000000000005006.

15. Gøthesen O., Espehaug B., Havelin L.I., Petursson G., Hallan G., Strøm E., Dyrhovden G., Furnes O. Functional outcome and alignment in computer-assisted and conventionally operated total knee replacements: a multicentre parallel-group randomised controlled trial // *Bone Joint J.* 2014. Vol. 96-B. Is. 5. P. 609-618. DOI: 10.1302/0301-620X.96B5.32516.

16. Choong P.F., Dowsey M.M., Stoney J.D. Does accurate anatomical alignment result in better function and quality of life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty // *J. Arthroplasty*. 2009. Vol. 24. Is. 4. P. 560-569.

17. Burnett R.S., Barrack R.L. Computer-assisted total knee arthroplasty is currently of no proven clinical benefit: a systematic review // *Clin Orthop Relat Res.* 2013. Vol. 471. Is. 1. P. 264-276.

18. Bonicoli E., Andreani L., Parchi P., Piolanti N., Lisanti M. Custom-fit total knee arthroplasty: our initial experience with 30 knees // *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2014. Vol. 24. Is. 7. P. 1249-1254. DOI: 10.1007/s00590-013-1304-0.

19. Ivie C.B., Probst P.J., Bal A.K., Stannard J.T., Crist B.D., Sonny Bal B. Improved radiographic outcomes with patient-specific total knee arthroplasty // *J. Arthroplasty*. 2014. Vol. 29. P. 11. P. 2100-2103.

20. Zeller I.M., Sharma A., Kurtz W.B., Anderle M.R., Komistek R.D. Customized versus Patient-Sized Cruciate-Retaining Total Knee Arthroplasty: An In Vivo Kinematics Study Using Mobile Fluoroscopy // *J. Arthroplasty*. 2017. V. 32. P. 4. P. 1344-1350.

21. Ponnusamy K., Mohr C., Curet M.J. Clinical outcomes with robotic surgery // *Curr. Probl. Surg.* 2011. Vol. 48. Is. 9. P. 577-656.

22. Bellemans J., Vanlauwe J. Robot-assisted total knee arthroplasty // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2007. Vol. 464. P. 111-116. DOI: 10.1097/BLO.0b013e318126c0c0.

23. Hampp E.L., Chughtai M., Scholl L.Y., Sodhi N., Bhowmik-Stoker M., Jacofsky D.J., Mont M.A. Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Demonstrated Greater Accuracy and Precision to Plan Compared with Manual Techniques // *J. Knee Surg.* 2019. Vol. 32. Is. 3. P. 239-250.

24. Song, E.K., Seon JK, Yim J.H., Netravali N.A., Bargar W.L. Robotic-assisted TKA reduces postoperative alignment outliers and improves gap balance compared to conventional TKA // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2013. Vol. 471. P. 118-126.

25. Лычагин А.В., Рукин Я.А., Грицюк А.А., Елизаров М.П. Первый опыт роботизированного эндопротезирования коленного сустава // *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2019. №4. (38). С. 27-33.

26. Bernard-de-Villeneuve F., Kayikci K., Sappey-Marinier E., Lording T., Batailler C., Servien E., Lustig S. Health economic value of CT scan based robotic assisted UKA: a systematic

review of comparative studies // Arch. Orthop. Trauma Surg. 2021. Vol. 141. Is. 12. P. 2129-2138. DOI: 10.1007/s00402-021-04066-w.

27. Лычагин А.В., Грицюк А.А., Гасанов А. Первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава и ожирение // Врач. 2018. Т. 29. № 10. С. 58-60.

28. Герасименко М.А. Использование системы компьютерной навигации при тотальном эндопротезировании коленного сустава. // Военная медицина. 2018. № 2. С. 135-139.

29. Siebert W., Mai S., Kober R., Heeckt P.F. Technique and first clinical results of robot-assisted total knee replacement // Knee. 2002. Vol. 9. Is. 3. P. 173-180. DOI: 10.1016/s0968-0160(02)00015-7.

30. Khan H., Dhillon K., Mahapatra P., Popat R., Zakieh O., Kim W.J., Nathwani D. Blood loss and transfusion risk in robotic-assisted knee arthroplasty: A retrospective analysis // Int. J. Med. Robot. 2021. Vol. 17. Is. 6:e2308. DOI: 10.1002/rcs.2308.

31. Kayani B., Konan S., Tahmassebi J., Oussedik S., Moriarty P.D., Haddad .FS. A prospective double-blinded randomised control trial comparing robotic arm-assisted functionally aligned total knee arthroplasty versus robotic arm-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty // Trials. 2020. Vol. 21. Is. 1. P. 194. DOI: 10.1186/s13063-020-4123-8.

32. Marchand R.C., Sodhi N., Khlopas A., Sultan A.A., Harwin S.F., Malkani A.L., Mont M.A. Patient satisfaction outcomes after robotic arm-assisted total knee arthroplasty: a short-term evaluation // J. Knee Surg. 2017. Vol. 30. Is. 9. P. 849-853. DOI: 10.1055/s-0037-1607450.

33. Khlopas A., Sodhi N., Hozack W.J., Chen A.F., Mahoney O.M., Kinsey T., Orozco F., Mont M.A. Patient-reported functional and satisfaction outcomes after robotic-arm-assisted total knee arthroplasty: early results of a prospective multicenter investigation // J. Knee Surg. 2020. Vol. 33. Is. 7. P. 685-690. DOI: 10.1055/s-0039-1684014.

34. Steffens D., Karunaratne S., McBride K., Gupta S., Horsley M., Fritsch B. Implementation of robotic-assisted total knee arthroplasty in the public health system: a comparative cost analysis // Int. Orthop. 2022. Vol. 46. Is. 3. P. 481-488. DOI: 10.1007/s00264-021-05203-1.