

Гений ортопедии. 2023;29(5):475-480.

Genij Ortopedii. 2023;29(5):475-480.



Научная статья

УДК 004.9:617.728.3-089.843-77

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-475-480>**Робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава.
Первый опыт (проспективное рандомизированное исследование)**Г.А. Айрапетов[✉], П.К. Яблонский, М.С. Сердобинцев, З.В. Дзюв, Д.Г. Наумов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Георгий Александрович Айрапетов, airapetovga@yandex.ru

Аннотация

Введение. Первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава давно доказало свою эффективность при лечении остеоартрита коленного сустава при 3-4 стадиях. Общеизвестно, что это вмешательство не только улучшает качество жизни, но помогает восстановить функцию сустава и устранить развивающиеся деформации его оси. **Цель.** Сравнение ранних результатов тотального эндопротезирования коленного сустава при помощи робот-ассистированной технологии с мануальной классической техникой. **Материалы и методы.** В проспективное рандомизированное исследование включены 20 пациентов с диагнозом «Остеоартрит коленного сустава 3 стадии» с варусной деформацией оси коленного сустава. Пациентов разделили на 2 репрезентативные группы, десяти из них выполнили робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава, а 10 – традиционную мануальную технику. Для клинической оценки использовались функциональные шкалы KSS, WOMAC, Lysholm Score, выполнялась оценка послеоперационных рентгенограмм. **Результаты.** По клиническим функциональным шкалам через 10 дней после операции отмечалось улучшение показателей у больных в обеих группах ($p < 0,05$), длительность операции в целом не различалась, интраоперационная кровопотеря в группе с робот-ассистированным эндопротезированием была меньше, а оценка послеоперационных результатов по рентгенологическим изображениям показала позиционирование компонентов в соответствии с предоперационным планированием лучше в группе с использованием робота. **Обсуждение.** При выполнении операции опытными хирургами можно ожидать корректного положения компонентов и баланса связочного аппарата и при стандартном классическом эндопротезировании, однако использование робот-ассистированной техники позволяет обезопасить пациента даже в клиниках с небольшим количеством подобных операций. **Заключение.** Робот-ассистированное эндопротезирование, несмотря на высокую стоимость и необходимость дополнительных расходных материалов, имеет ряд преимуществ перед классической мануальной техникой. К таким преимуществам относится точное восстановление оси конечности даже с учетом внесуставных деформаций, корректное положение компонентов эндопротеза, снижение интраоперационной кровопотери за счет закрытых костномозговых каналов и безопасность для пациентов. Тем не менее, роль хирурга при таких операциях остается первостепенной, так как именно хирург ответственен за планирование операции, ее выполнение и достижение баланса мягких тканей.

Ключевые слова: робот-ассистированное эндопротезирование, коленный сустав, остеоартроз

Для цитирования: Айрапетов Г.А., Яблонский П.К., Сердобинцев М.С., Дзюв З.В., Наумов Д.Г. Робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава. Первый опыт (проспективное рандомизированное исследование). *Гений ортопедии*. 2023;29(5):475-480. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-475-480. EDN: PXAFKP.

Original article

Robot-assisted knee arthroplasty: first experience (a prospective randomized study)G.A. Airapetov[✉], P.K. Yablonskiy, M.S. Serdobintsev, Z.V. Dziov, D.G. Naumov

St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Georgii A. Airapetov, airapetovga@yandex.ru

Abstract

Introduction Primary total knee arthroplasty has long been proven effective in the treatment of stage 3-4 knee osteoarthritis. It is well known that this intervention not only improves the quality of life, but also helps to restore the function of the joint and eliminate axial deformities. **Purpose** To compare early results of total knee arthroplasty using robot-assisted technology with conventional manual technique. **Materials and Methods** 20 patients diagnosed with stage 3 osteoarthritis of the knee joint and varus deformity of the knee joint axis were included in a prospective randomized study. Patients were divided into 2 representative groups, 10 subjects underwent robot-assisted knee arthroplasty, and the conventional manual technique was used in the other 10 patients. For clinical assessment, functional scales KSS, WOMAC, Lysholm Score were used, postoperative radiographs were evaluated. **Results** According to clinical functional scales, 10 days after surgery, there was an improvement in performance in the patients of both groups ($p < 0.05$); the duration of the operation in the patients of both groups did not differ in general; intra-operative blood loss in the group with robot-assisted arthroplasty was lower; and assessment of postoperative results by radiological imaging showed a better component positioning according to preoperative planning in the robotic group. **Discussion** When the operation is performed by experienced surgeons, one can expect the correct position of the components and the balance of the ligamentous apparatus in standard arthroplasty. However, the use of robot-assisted technology provides a secure intervention performance even at a hospital where a small number of such operations is performed. **Conclusion** Despite the high cost and the need for additional consumables, robot-assisted arthroplasty has a number of advantages over classical manual techniques. These advantages include: accurate restoration of the limb axis even in extra-articular deformities, correct position of the endoprosthesis components, reduction of intra-operative blood loss due to closed medullary canals, and safety for patients. However, the role of the surgeon in such operations remains paramount, as it is the surgeon who is responsible for planning the operation, performing it, and achieving soft tissue balance.

Keywords: robot-assisted arthroplasty, knee joint, osteoarthritis

For citation: Airapetov G.A., Yablonskiy P.K., Serdobintsev M.S., Dziov Z.V., Naumov D.G. Robot-assisted knee arthroplasty: first experience (a prospective randomized study). *Genij Ortopedii*. 2023;29(5):475-480. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-475-480

ВВЕДЕНИЕ

Первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава давно доказало свою эффективность при лечении остеоартрита коленного сустава при 3-4 стадиях. Общеизвестно, что это вмешательство не только

улучшает качество жизни, но помогает восстановить функцию сустава и устранить развивающиеся деформации его оси. В мире ежегодно выполняется около 2 млн. таких операций [1, 2].

Роботизированное ассистирование оперативных вмешательств – современное активно развивающееся направление научно-практических исследований, которые охватывают многие виды специализированной хирургической помощи при разнообразной патологии [3-6]. Впервые роботизированная операция в хирургической ортопедии была описана в 1993 году [7], в последние годы использование роботических технологий в лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата получило свое дальнейшее развитие. Применение роботизированной ассистенции относят к одному из методов эндопротезирования коленного сустава, при котором «рука робота» обеспечивает выполнение резекции бедренной и большеберцовой костей и формирование костного ложа протеза коленного сустава под контролем врача [8]. Работа такой системы включает в себя два основных этапа [9]:

1) предоперационное планирование выполняется на основе данных компьютерной томографии тазобедренного, коленного и голеностопного суставов с предварительным расчетом углов опилов резецируемых костей, размеров и положения компонентов;

2) резекция костей активной системой ("рукой" робота) на основе предоперационного индивидуального планирования, имплантация компонентов эндопротеза и контроль баланса мягких тканей под контролем навигации.

В литературе имеются многочисленные публикации, в которых авторы описывают, что использование роботизированного ассистирования при имплантации эндопротеза помогает более точно рассчитать уровень опилов дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой кости, подобрать оптимальные размеры компонентов эндопротеза и сформировать правильную механическую ось конечности под контролем навигации [10-12], что, в свою очередь, обеспечивает хороший баланс связок [13-15]. В своем исследовании E.L. Hampp с группой соавторов показали, что точность опилов и позиционирование компонентов эндопротеза при робот-ассистированных операциях выше по сравнению с мануальным тотальным эндопротезированием коленного сустава [16].

Цель – сравнение ранних результатов тотального эндопротезирования коленного сустава при помощи робот-ассистированной технологии с мануальной классической техникой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проспективное рандомизированное исследование проводилось в период с 03.04.2023 г. по 28.04.2023 г. в условиях Центра хирургии костей и суставов Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии. В исследование включено 20 пациентов с диагнозом «Идиопатический остеоартрит коленного сустава 3 ст. с варусной деформацией оси сустава», учитывали варусную деформацию до 8°. Стадию процесса определяли по классификации Kellgren – Lawrence. С целью рандомизации путем использования компьютерного генератора случайных чисел пациенты разделены на 2 группы: десяти пациентам выполнена имплантация эндопротеза коленного сустава при помощи роботизированной техники (группа 1), 10 больным осуществлено эндопротезирование сустава по стандартной мануальной технологии (группа 2). Пациенты в группе 1 были проинформированы о преимуществах и недостатках роботизированного эндопротезирования. Половозрастная характеристика больных и клинические параметры функции коленного сустава до операции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Данные пациентов и параметры функции коленного сустава

Параметр	Группа 1	Группа 2	p
Возраст пациентов, годы, Me (Q1-Q2)	61,4 (48-72)	63,4 (47-75)	> 0,05
Мужчины	абс.	4	3
	%	40	30
Женщины	абс.	6	7
	%	60	70
Левая сторона	абс.	5	6
	%	50	60
Правая сторона	абс.	5	4
	%	50	40
Тип импланта CR	абс.	9	7
Тип импланта PS	абс.	1	3
Шкала KSS, баллы, Me (Q1-Q2)	60,5 (49-68)	59 (44-66)	> 0,05
Шкала Лисхольма, Me (Q1-Q2)	57 (47-64)	56,5 (46-62)	> 0,05
Шкала WOMAC, баллы, Me (Q1-Q2)	31 (27-35)	33 (29-39)	> 0,05

Приведенные в таблице данные свидетельствуют об отсутствии статистически значимых различий между исследуемыми группами больных и о возможности последующего корректного анализа полученных результатов.

Предоперационная подготовка. Пациентам группы 1 в предоперационном периоде была выполнена компьютерная томография тазобедренного, коленного и голеностопного суставов для предоперационного планирования размеров компонентов, расчета углов отклонения оси нижней конечности и окончательного позиционирования компонентов с учетом коррективки оси. Больным группы 2 выполнено стандартное планирование по рентгенотелескопическим снимкам.

Хирургическая техника. Всем пациентам перед разрезом выполняли антибиотикопрофилактику и введение транексамовой кислоты по стандартной схеме. Все операции были выполнены одним хирургом. Во всех случаях выполняли механическую философию выравнивания. Робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава также предполагало наличие ассистента, обеспечивающего компьютерную часть операции. Конечность пациентов устанавливали на специальный фиксатор. В дистальную часть бедра и проксимальную часть голени устанавливали по два пина с датчиками для связи с навигацией (рис. 1).

Во всех случаях выполняли стандартный медиальный парapatеллярный доступ. В область медиального надмыщелка бедра и медиальную часть бугристости большеберцовой кости устанавливали чек-поинты для синхронизации данных с роботом. После чего выполняли регистрацию анатомических ориентиров с сопоставлением 3D-модели компьютерной томографии пациента (рис. 2).

Следующим этапом подвели "руку" робота для выполнения опилов бедренной и большеберцовой костей. Выполнение опилов постоянно контролировали на мониторе, что являлось "необычным" при переходе с мануальной техники (рис. 3, 4).



Рис. 1. Укладка конечности с датчиками для навигации

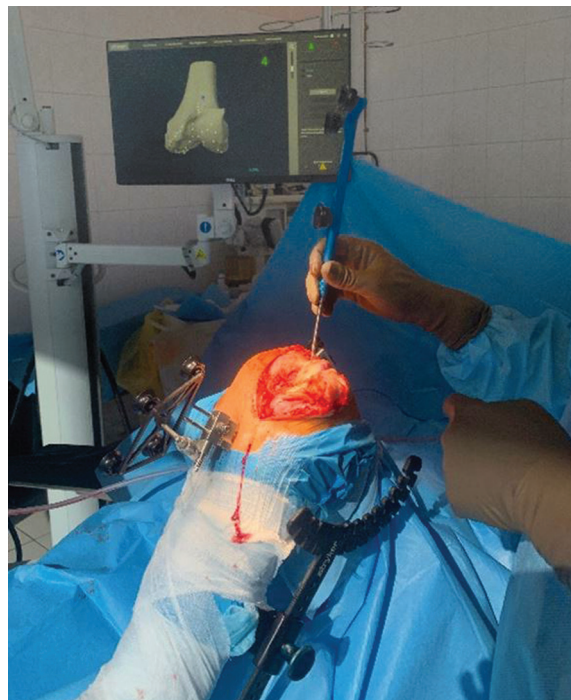


Рис. 2. Регистрация анатомических ориентиров



Рис. 3. Выполнение опилов дистального отдела бедра



Рис. 4. Контроль выполнения опилов на мониторе

После осуществления опилов выполняли релиз мягких тканей, обработку ложа большеберцовой кости под киль эндопротеза и установку окончательной конструкции по стандартной хирургической технике (рис. 5).

Далее оценивали стабильность сустава под контролем навигации и отслеживали трекинг надколенника в межмышечковой борозде (рис. 6).

В группе 2 проводилась традиционная мануальная техника эндопротезирования коленного сустава при помощи экстрamedулярного направителя. Послеоперационный период проходил равнозначно в обеих группах, включая профилактику тромбоэмболических осложнений и стандартный курс реабилитации. На следующий день выполняли рентгенограммы для контроля послеоперационных результатов, при оценке которых определяли корректность установленных компонентов с учетом восстановления механической оси

конечности, соответствия размеров компонентов и возможного запиливания бедренного компонента в передний кортикаль. Пациентов наблюдали в отделении в течение 10 дней для оценки ранних послеоперационных результатов.

Статистический анализ полученных в ходе исследования данных строился согласно современным требованиям описательной статистики в медико-биологических исследованиях [17]. Использовали специализированное программное обеспечение – Statistica 13 и IBM SPSS® Statistics версии 20. Нормальность распределения количественных признаков исследовалась по критерию Шапиро – Уилка, установлено распределение изучаемых параметров, отличающееся от нормального. В связи с этим дальнейший статистический анализ проводили с применением непараметрических методов. Вычислялись медиана (Me) и интерквартильный размах (Q1-Q3).

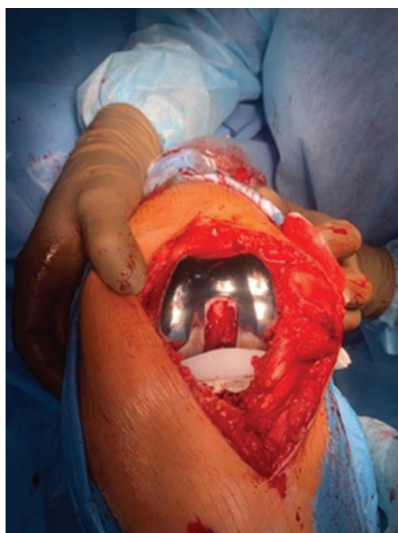
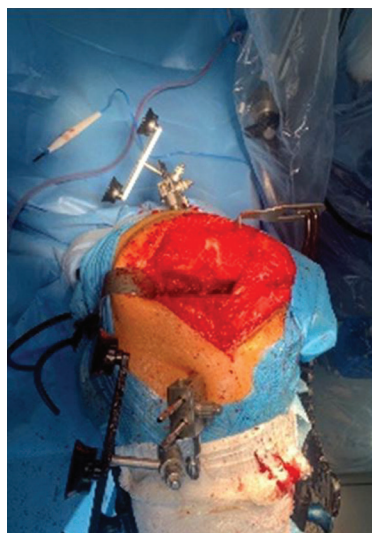


Рис. 5. Интраоперационные фото: а – выполненные опиловы, б – установленный эндопротез

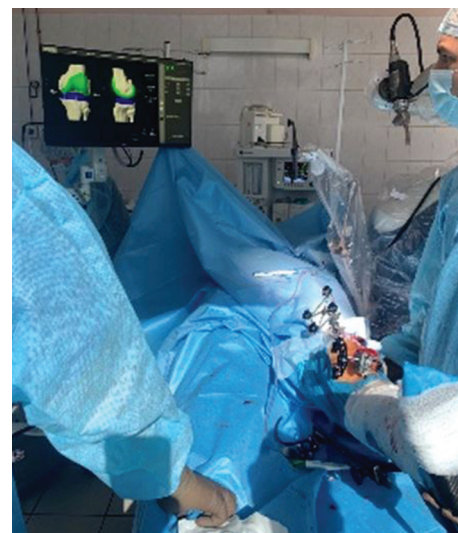


Рис. 6. Оценка стабильности сустава под контролем навигации

Для независимых количественных выборок в группах исследования определяли значимость статистических различий показателей путем использования непараметрического U-теста Манна – Уитни, различия

считались значимыми при $p \leq 0,05$. Сравнение показателей до и после лечения (в зависимых выборках) осуществляли с помощью Т-критерия Уилкоксона, различия считались значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В обеих группах пациентов ранние послеоперационные функциональные результаты были сопоставимы. Амплитуда движений в коленном суставе у больных обеих групп статистически значимо увеличилась. У пациентов 1 группы при анализе показателей по Ме по шкале KSS через 10 дней результаты улучшились в среднем на 20 баллов, по шкале WOMAC – на 19,9 балла, по шкале Лисхольма – на 18 баллов. При робот-ассистированной операции интраоперационная кровопотеря была в среднем меньше на 60 мл, а продолжительность операции больше в среднем на 10 минут. На контрольных рентгенограммах боль-

ных группы 1 положение компонентов полностью соответствовало предоперационному планированию, а именно, восстановлена механическая ось конечности, размеры имплантов соответствовали анатомическим размерам кости в данной локализации, отсутствовало «запиливание» бедренного компонента. Среди больных группы 2 определили в 1 случае незначительное запиливание бедренного компонента в передний кортикаль, размеры компонентов подобраны корректно, однако у 2-х пациентов определяли остаточный варус 2° . В таблице 2 представлена динамика исследуемых послеоперационных показателей в обеих группах пациентов.

Таблица 2

Послеоперационные показатели в обеих группах, Ме (Q1-Q2)

Параметр		Группа 1		p	Группа 2		p – value
		до операции	после операции		до операции	после операции	
Объем движений в коленном суставе	сгибание, градусы	108 (100-110)	127 (115-135)	< 0,01	111 (105-115)	126,5 (120-130)	< 0,01
	разгибание, градусы	173 (165-175)	180 (180-182)	< 0,05	171,5 (165-175)	180 (180-180)	< 0,05
Варусная деформация		5,3 (4-6)	0,8° (0-2)	< 0,01	4,5 (4-6)	1 (0-3)	< 0,01
KSS, баллы		60,5 (49-68)	81 (75-84)	< 0,01	59 (44-66)	76 (70-84)	< 0,01
Шкала Лисхольма, баллы		57 (47-64)	77,5 (68-82)	< 0,01	56,5 (46-62)	73 (68-79)	< 0,01
WOMAC, баллы		31 (27-35)	10,1 (8-16)	< 0,01	33 (29-39)	13,3 (10-19)	< 0,01
Интраоперационная кровопотеря, мл		250 (150-270)			310 (280-350)		< 0,05
Длительность операции, минуты		75 (65-80)			65 (55-75)		> 0,05

ОБСУЖДЕНИЕ

Робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава активно внедряется в ортопедическую практику. Некоторые авторы считают, что преимущества использования роботов нивелируются стоимостью расходного материала и самого робот-ассистента [9]. Если посмотреть на полученные нами данные клинической оценки, то можно наблюдать сопоставимые результаты увеличения амплитуды движений и

клинической оценки результатов через 10 дней. Это, по нашему мнению, объяснимо с учетом того, что операции выполнялись одним хирургом, выполняющим более 100 подобных операций в год и, соответственно, с одной техникой работы с мягкими тканями, а также сопоставимыми параметрами пациентов перед операциями. Конечно, оценка результатов через 10 дней носит предварительный характер суждений и не даёт полного

представления о функции, это предполагает необходимость проведения более глубоких исследований.

По некоторым опубликованным данным, использование роботов значительно увеличивает продолжительность операции, при этом может возрасти интраоперационная кровопотеря [14]. Если посмотреть на наши данные, то видно, что объем кровопотери оказался незначительно, но достоверно меньше в группе с использованием робота-ассистента. По нашему мнению, это связано с сохранением во время операции закрытых интрамедуллярных каналов, которые могут быть источником продолжающегося кровотечения во время оперативного вмешательства. Возможно, это положительно скажется и на дальнейшей жизни пациента с учетом важности сохранения красного костного мозга в метаэпифизах костей и желтого костного мозга в костномозговом канале. В некоторых ситуациях сохранение закрытых костномозговых каналов чрезвычайно важно при наличии в них последствий воспалительных процессов. Отметим, что робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава позволяет повысить точность позиционирования имплантов и выравнивания конечности при внесуставных деформациях конечностей [18, 19], а также уменьшить ятрогенное повреждение околоуставных мягких тканей [20].

Если говорить о продолжительности операции, то в целом между исследуемыми группами оно сопоставимо. Дополнительное время расходуется на установку датчиков навигации в бедро и голень, однако, по нашему мнению, время операции необходимо отсчитывать с момента разреза в области коленного сустава. Не расходуется и время на определение размеров компонентов и их положения (особенно ротации) с учетом того, что все это выполняется на этапе предоперационного планирования.

Конечно, при выполнении операции опытными хирургами можно ожидать корректного положения компонентов и баланса связочного аппарата и при стандартном классическом эндопротезировании, однако использование робот-ассистированной техники позволяет обезопасить пациента даже в клиниках с небольшим количеством подобных операций. Это подтверждается и нашими результатами послеоперационного лучевого контроля.

Из дополнительных преимуществ робот-ассистированной техники можно выделить возможность коррекции опилов, расположения компонентов и, соответственно, баланса на любом этапе операции, а также определенную безопасность для мягких тканей с учетом отключения работы полотна при отклонении от заданных параметров расположения кости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Робот-ассистированное эндопротезирование коленного сустава, несмотря на высокую стоимость и необходимость дополнительных расходных материалов, имеет ряд преимуществ перед классической мануальной техникой. К таким преимуществам относятся точное восстановление оси конечности даже с учетом внесуставных деформаций, корректное положение компонентов эндопротеза, снижение интраоперационной кровопотери за счет сохранения закрытых костномозговых каналов и безопасность для пациен-

тов. Тем не менее, роль хирурга при таких операциях остается первостепенной, так как именно хирург ответственен за планирование операции, ее выполнение и достижение баланса мягких тканей. Из недостатков использования робота-ассистента можно выделить дополнительное облучение пациента при выполнении предоперационной компьютерной томографии, наличие дополнительного дорогостоящего оборудования в операционной, что существенно уменьшает пространство для работы медицинского персонала.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие. Пациенты дали добровольное письменное информированное согласие.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ferguson RJ, Palmer AJ, Taylor A, et al. Hip replacement. *Lancet*. 2018 Nov 3;392(10158):1662-1671. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31777-X
2. Tan Z, Cao G, Wang G, Zhou Z, Pei F. Total hospital cost, length of stay, and complications between simultaneous and staged bilateral total hip arthroplasty: A nationwide retrospective cohort study in China. *Medicine* (Baltimore). 2019;98(11):e14687. doi: 10.1097/MD.00000000000014687
3. Насырова Н.И., Озолина Л.А., Борисова М.С., Аскерова Н.Г. Применение робот-ассистированных операций в гинекологии (обзор литературы). *Вестник РГМУ*. 2014;(1):36-41.
4. Атрощенко А.О., Поздняков С.В. История развития роботизированной хирургии и ее место в современной колопроктологии: обзор литературы. *Злокачественные опухоли*. 2014;(1):3-13. doi: 10.18027/2224-5057-2014-1-3-13
5. Колонтарев К.Б., Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Шептунов С.А. История развития роботических технологий в медицине. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. *Медицинские науки*. 2014;4 (32):125-140.
6. Яблонский П.К., Кудряшов Г.Г., Васильев И.В. и др. Эффективность и безопасность робот-ассистированных торакоскопических лобэктомий притуберкулезе легких. *Туберкулез и болезни легких*. 2018;96(5):28-35. doi: 10.21292/2075-1230-2018-96-5-28-35
7. Matsen FA 3rd, Garbini JL, Sidles JA, Pratt B, Baumgarten D, Kaiura R. Robotic assistance in orthopaedic surgery. A proof of principle using distal femoral arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(296):178-186.
8. Лычагин А.В., Рукин Я.А., Грицюк А.А., Елизаров М.П., Первый опыт роботизированного эндопротезирования коленного сустава. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2019;4:27-33. doi: 10.17238/issn2226-2016.2019.4.27-33
9. Kayani B, Konan S, Ayuob A, et al. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev*. 2019;4(10):611-617. doi: 10.1302/2058-5241.4.190022
10. Dorr LD. CORR Insights®: Does Robotic-assisted TKA Result in Better Outcome Scores or Long-Term Survivorship Than Conventional TKA? A Randomized, Controlled Trial. *Clin Orthop Relat Res*. 2020;478(2):276-278. doi: 10.1097/CORR.0000000000000969
11. Kim CW, Lee CR. Effects of Femoral Lateral Bowing on Coronal Alignment and Component Position after Total Knee Arthroplasty: A Comparison of Conventional and Navigation-Assisted Surgery. *Knee Surg Relat Res*. 2018;30(1):64-73. doi: 10.5792/ksrr.17.056

12. Kim SH, Park YB, Song MK, et al. Reliability and Validity of the Femorotibial Mechanical Axis Angle in Primary Total Knee Arthroplasty: Navigation versus Weight Bearing or Supine Whole Leg Radiographs. *Knee Surg Relat Res.* 2018;30(4):326-333. doi: 10.5792/ksrr.18.028
13. Chowdhry M, Khakha RS, Norris M, et al. Improved Survival of Computer-Assisted Unicompartmental Knee Arthroplasty: 252 Cases With a Minimum Follow-Up of 5 Years. *J Arthroplasty.* 2017;32(4):1132-1136. doi: 10.1016/j.arth.2016.11.027
14. Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and Radiological Outcomes in Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2020;35(11):3393-3409.e2. doi: 10.1016/j.arth.2020.03.005
15. Bhimani SJ, Bhimani R, Smith A, et al. Robotic-assisted total knee arthroplasty demonstrates decreased postoperative pain and opioid usage compared to conventional total knee arthroplasty. *Bone Jt Open.* 2020;1(2):8-12. doi: 10.1302/2633-1462
16. Hampp EL, Chughtai M, Scholl LY, et al. Robotic-Arm Assisted Total Knee Arthroplasty Demonstrated Greater Accuracy and Precision to Plan Compared with Manual Techniques. *J Knee Surg.* 2019;32(3):239-250. doi: 10.1055/s-0038-1641729
17. Кузовлев А.Н., Ядгаров М.Я., Берикашвили Л.Б. и др. Выбор метода статистического анализа. *Анестезиология и реаниматология.* 2021;(3):88-93. doi: 10.17116/anaesthesiology202103188
18. Begum FA, Kayani B, Morgan SDJ, et al. Robotic technology: current concepts, operative techniques and emerging uses in unicompartmental knee arthroplasty. *EFORT Open Rev.* 2020;5(5):312-318. doi: 10.1302/2058-5241.5.190089
19. Kayani B, Konan S, Huq SS, et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(4):1132-1141. doi: 10.1007/s00167-018-5138-5
20. Kayani B, Tahmassebi J, Ayuob A, et al. A prospective randomized controlled trial comparing the systemic inflammatory response in conventional jig-based total knee arthroplasty versus robotic-arm assisted total knee arthroplasty. *Bone Joint J.* 2021;103-B(1):113-122. doi: 10.1302/0301-620X.103B1.BJJ-2020-0602.R2

Статья поступила в редакцию 05.07.2023; одобрена после рецензирования 11.07.2023; принята к публикации 25.08.2023.

The article was submitted 05.07.2023; approved after reviewing 11.07.2023; accepted for publication 25.08.2023.

Информация об авторах:

1. Георгий Александрович Айрапетов – доктор медицинских наук, руководитель центра хирургии суставов, заведующий отделением, airapetovga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7507-7772>;
2. Пётр Каземирович Яблонский – доктор медицинских наук, профессор, директор, <https://orcid.org/0000-0003-4385-9643>;
3. Михаил Сергеевич Сердобинцев – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-4066-1087>;
4. Заурбек Валерьевич Дзюв – врач травматолог-ортопед, zaurbekdziov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3300-3398>;
5. Денис Григорьевич Наумов – кандидат медицинских наук, заведующий отделением, dg.naumov@spbniif.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>.

Information about the authors:

1. Georgii A. Airapetov – Doctor of Medical Sciences, Head of the Center for Joint Surgery, Head of Department, airapetovga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7507-7772>;
2. Petr K. Yablonskiy – Doctor of Medical Sciences, Professor, Director, <https://orcid.org/0000-0003-4385-9643>;
3. Mikhail S. Serdobincev – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4066-1087>;
4. Zaurbek V. Dziov – traumatologist-orthopedist, zaurbekdziov@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3300-3398>;
5. Denis G. Naumov – Candidate of Medical Sciences, Head of Department, dg.naumov@spbniif.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>.

Вклад авторов:

Айрапетов Г.А. – концептуализация, методология, исследование, контроль, управление проектом.
Яблонский П.К. – написание – рецензирование и редактирование.
Сердобинцев М.С. – валидация, обработка данных.
Дзюв З.В. – написание – первоначальный вариант, визуализация.
Наумов Д.Г. – формальный анализ.