

КРИВАЯ ОБУЧАЕМОСТИ РОБОТ-АССИСТИРОВАННОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ПРИ ДИСПЛАЗИИ

Дгебуадзе Г.^{1,2}, Грицюк А.А.³, Шумский А.А.², Мацакян А.М.⁴

ГБУЗ «Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова», Москва, e-mail: mr.dgebuadze777@mail.ru;

²Юсуповская больница (ООО «Нейро-клиника»), Москва;

³ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова»

Минздрава России, Москва;

⁴ГБУЗ «Городская поликлиника № 209 Департамента здравоохранения г. Москвы», Москва

Внедрение робот-ассистированных технологий в эндопротезирование тазобедренного сустава при дисплазии остается актуальной задачей современной ортопедической хирургии. Существующие вопросы кривой обучаемости хирургов требуют детального изучения для оптимизации процесса освоения новых технологий. Цель исследования заключалась в анализе кривой обучаемости при диспластическом коксартрозе в рамках сравнения робот-ассистированного и мануального тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Клинические наблюдения проводились на базе Юсуповской больницы г. Москвы с февраля 2024 по июнь 2025 года. Исследовательская группа включала 200 пациентов, разделенных на две равные когорты по 100 человек: 1-я группа подвергалась мануальному эндопротезированию, 2-я оперировалась с применением хирургической системы MAKO Robot. Оценивались точность позиционирования ацетабулярных компонентов согласно критериям безопасных зон Левиннека и Калланана, временные характеристики операций, объем интраоперационной кровопотери и особенности освоения робот-ассистированной технологии. Робот-ассистированная методика продемонстрировала превосходство в точности позиционирования имплантов, обеспечив корректное размещение 100% компонентов в безопасной зоне Левиннека против 80% при мануальной технике. Отмечено значительное снижение кровопотери во время операции и частоты осложнений интраоперационно и послеоперационно. Анализ кривой обучаемости показал, что к 6-7-й операции временные характеристики робот-ассистированных вмешательств сравнивались с мануальными методиками. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения робот-ассистированных технологий в клиническую практику ортопедической хирургии, особенно при работе с пациентами, имеющими сложные анатомические особенности тазобедренного сустава.

Ключевые слова: робот-ассистированное эндопротезирование, тазобедренный сустав, дисплазия, кривая обучаемости, система MAKO Robot.

LEARNING CURVE FOR ROBOT-ASSISTED HIP REPLACEMENT IN DYSPLASIA

Dgebuadze G.^{1,2}, Gritsyuk A.A.³, Shumsky A.A.², Matsakyan A.M.⁴

¹State Budgetary Healthcare Institution «City Clinical Hospital № 1 named after N.I. Pirogov», Moscow, e-mail: mr.dgebuadze777@mail.ru;

²Yusupov Hospital, Moscow;

³Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow;

⁴State Budgetary Healthcare Institution «City Polyclinic № 209 of the Moscow Department of Health», Moscow

The introduction of robot-assisted technologies in hip arthroplasty for dysplasia remains a pressing issue in modern orthopedic surgery. Existing issues of the learning curve of surgeons require detailed study to optimize the process of mastering new technologies. The aim of the study was to demonstrate the features of the learning curve in dysplastic coxarthrosis in the framework of a comparative analysis of robot-assisted and manual total hip arthroplasty. Clinical observations were conducted at the Yusupov Hospital from February 2024 to June 2025. The study group included 200 patients divided into two equal cohorts of 100 people. The first group underwent manual endoprosthesis, the second was operated using the MAKO Robot surgical system. The accuracy of positioning of acetabular components according to the criteria of the Levinneck and Callanan safe zones, the time characteristics of the operations, the volume of intraoperative blood loss and the features of mastering the robot-assisted technology were assessed. The robot-assisted technique demonstrated superiority in the accuracy of implant positioning, ensuring the correct placement of 100% of components in the Levinneck safe zone versus 80% with the manual technique. A significant decrease in intraoperative blood loss and the frequency of

postoperative complications was noted. Analysis of the learning curve showed that by the 6th-7th operation, the time characteristics of robot-assisted interventions were equal to those of manual techniques. The results confirm the feasibility of introducing robot-assisted technologies into the clinical practice of orthopedic surgery, especially when working with patients with complex anatomical features of the hip joint.

Keywords: robot-assisted arthroplasty, hip joint, dysplasia, learning curve, MAKO robot.

Введение

Современная ортопедическая хирургия характеризуется активным внедрением инновационных технологий, среди которых особое место занимает робот-ассистированное тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава (раТЭТС), в сравнении с традиционными мануальными методиками (ммТЭТС). Интенсивное развитие роботических технологий в эндопротезировании наблюдается во всем мире.

Роботические системы обеспечивают возможность детального индивидуального предоперационного планирования, что критически важно для достижения оптимального позиционирования компонентов эндопротеза [1-3]. Современные роботические платформы демонстрируют исключительную точность имплантации, достигая погрешности не более 1 мм по позиции и 1 градуса по углу наклона для каждого конкретного пациента [4-6]. Особую клиническую значимость робот-ассистированные технологии приобретают при эндопротезировании тазобедренного сустава у пациентов с дисплазией вертлужной впадины. В таких случаях хирург сталкивается с выраженным дефицитом кости, что существенно затрудняет адекватное размещение вертлужного компонента и обеспечение корректного функционирования искусственного сустава [7]. Система MAKO robot позволяет минимизировать ошибки ориентации компонентов, повысить хирургическую точность и снизить вероятность интраоперационных и послеоперационных осложнений, таких как снос краев впадины, проваливания в таз во время фрезировки впадины, малъпозиции компонентов протеза и его вывих.

Lu H. и соавторы провели комплексное исследование, направленное на оценку кривой обучения новой семиосевой системы робот-ассистированного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава (раТЭТС). В рамках проспективного рандомизированного контролируемого исследования была проанализирована выборка из 59 пациентов, перенесших одностороннее тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава в период с июня по сентябрь 2022 года. Методологический подход включал применение CUSUM-анализа (cumulative sum) для точной оценки кривой обучения системы раТЭТС с параллельным сравнением робот-ассистированной раТЭТС и традиционной мануальной ммТЭТС хирургических техник. Результаты исследования продемонстрировали, что кривая обучения составляет 13 клинических случаев для достижения профессионального уровня владения технологией. Временные характеристики хирургических вмешательств

показали, что средняя продолжительность операции в группе раТЭТС превышала аналогичный показатель группы ммТЭТС на 34,73 минуты ($104,26 \pm 19,33$ против $69,53 \pm 18,38$ мин., $p < 0,01$). Однако достижение стадии профессионализма сопровождалось значительным сокращением операционного времени на 29,75 минуты по сравнению со стадией обучения ($121,12 \pm 12,84$ против $91,37 \pm 12,92$, $p < 0,01$). Качество позиционирования компонентов в группе раТЭТС характеризовалось тем, что 96,7% (29/30) чашек были установлены в пределах безопасной зоны Лёвиннека, тогда как при мануальной технике этот показатель составил 82,76% (24/29) [8].

Дополнительные исследования других авторов подтверждают эффективность роботических технологий. Guo D. и соавторы [9] продемонстрировали преимущества точного позиционирования чашки при робот-ассистированном эндопротезировании. Zhang L. и соавторы [10] в ретроспективном исследовании «случай - контроль» выявили особые преимущества робот-ассистированных технологий у пациентов с ожирением. Singh V. и соавторы [11] провели сравнительный анализ результатов робототехники, навигационных систем и традиционного эндопротезирования. Kolodychuk N. и соавторы [12] изучали потенциал робототехники в смягчении кривой обучения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава.

Технологический процесс робот-ассистированного тотального эндопротезирования представляет собой комплексную систему, включающую выполнение компьютерной томографии по специализированному протоколу, сегментацию полученных изображений, детальное планирование всех компонентов эндопротеза, интраоперационную навигацию, визуализацию и функционирование ассистированной роботической руки [13]. Такой интегрированный подход обеспечивает достижение высокой точности имплантации компонентов эндопротеза при одновременном снижении травматичности и продолжительности оперативного вмешательства, позволяя достигать выравнивания длины конечности до 1 мм относительно контралатеральной стороны [14; 15].

Цели настоящего клинического исследования:

№ 1 - проведение сравнительного анализа постановки имплантов и временных параметров хирургических вмешательств между двумя методиками (раТЭТС и ммТЭТС);

№ 2 – изучение кривой обучаемости хирургов при освоении робот-ассистированного эндопротезирования тазобедренного сустава.

Методы и материалы исследования

Клиническое исследование проводилось на базе Юсуповской больницы (г. Москва) в период с февраля 2024 г. по июнь 2025 г. Исследовательская группа включала 200 пациентов, разделенных на две равные когорты по 100 человек в каждой, пациенты обоих полов, у кого

был диспластический коксартроз до 3 ст. по Crowe. Средний возраст пациентов $52,4 \pm 8,7$ года (18–65 лет). Первая группа пациентов подвергалась мануальному тотальному эндопротезированию тазобедренного сустава (ммТЭТС), вторая группа оперировалась с применением робот-ассистированной технологии (раТЭТС) с использованием хирургической системы MAKO Robot.

5 хирургов выполняли по 20 оперативных вмешательств раТЭТС. В каждом случае была задействованы одна и та же группа ассистирующих хирургов, анестезиологов и медсестер и один и тот же представитель отрасли (MPS - Mako Product Specialist). Время операции не включало время выполнения спинальной анестезии. Оно измерялось для обеих методик от первого разреза кожи до закрытия раны. Первый разрез для группы раТЭТС считался не с момента установки антенн, а с момента выполнения основного кожного доступа.

Все пациенты в предоперационном периоде получили детальную информацию об особенностях предстоящих хирургических процедур и предоставили письменные согласия на использование персональных медицинских данных в научных целях.

Методология исследования предусматривала оценку точности позиционирования ацетабулярных компонентов в соответствии с критериями безопасных зон Левиннека и Калланана (с помощью рентгена и компьютерной томографии тазобедренного сустава и тазовых костей), анализ временных характеристик операций, измерение объема интраоперационной кровопотери, а также изучение кривой обучаемости хирургов при освоении робот-ассистированной технологии.

Статистическая обработка данных исследования проводилась с использованием t-критерия Стьюдента для параметрических данных, подсчитывалась статистическая значимость между количественными величинами изучаемых показателей при $p < 0,05$. Статистическая значимость для несвязанных выборок определялась непараметрическими методами (U-критерий Манна – Уитни).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ точности позиционирования ацетабулярных компонентов продемонстрировал существенные преимущества робот-ассистированного тотального эндопротезирования тазобедренного сустава перед мануальной техникой. При оценке попадания в безопасную зону Левиннека группа раТЭТС показала абсолютную точность с результатом 100% (50 из 50 случаев), в то время как в группе ммТЭТС этот показатель составил 80% (40 из 50 случаев). Статистический анализ с использованием критерия хи-квадрат подтвердил высокую статистическую значимость различий между группами ($\chi^2 = 11,11$; $p < 0,001$) (рис. 1).

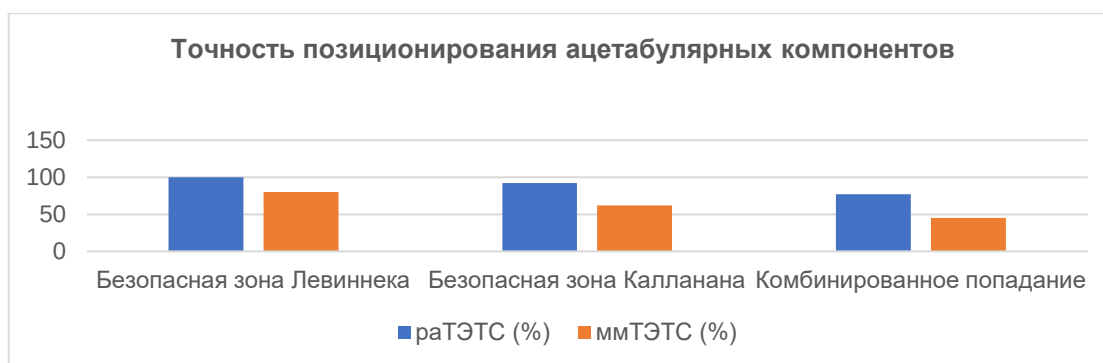


Рис. 1. Точность позиционирования ацетабулярных компонентов после paTЭТС (n=50) и ммTЭТС (n=50)

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Аналогичная тенденция наблюдалась при анализе попадания в безопасную зону Калланана, где группа paTЭТС достигла результата 92% (46 из 50 операций) против 62% (31 из 50) в группе ммTЭТС, что также показало статистически значимое различие ($\chi^2 = 12,77$; $p < 0,001$). Особенно показательным стал анализ комбинированного попадания в обе безопасные зоны одновременно, где робот-ассистированная техника обеспечила точность в 77% случаев (77 из 100 операций) по сравнению с 45% (45 из 100) при мануальной технике. Применение U-критерия Манна - Уитни подтвердило высокую статистическую значимость этого различия ($U = 3127,5$; $p < 0,001$).

Временные характеристики операций выявили интересную динамику, связанную с кривой обучаемости робот-ассистированной техники. При анализе общей продолжительности операций средние значения составили $89,3 \pm 15,7$ минуты для paTЭТС против $92,4 \pm 18,2$ минуты для ммTЭТС, что не показало статистически значимых различий ($t = 1,28$; $p = 0,203$). Однако детальный анализ кривой обучаемости продемонстрировал характерную динамику освоения новой технологии. В период освоения техники, включавший первые 6 операций, продолжительность вмешательств в группе paTЭТС составила $112,8 \pm 22,1$ минуты, что значительно превышало показатели группы ммTЭТС ($t = 3,45$; $p < 0,01$). После преодоления кривой обучаемости, начиная с 7-й по 20-ю операцию, ситуация кардинально изменилась: время операций в группе paTЭТС сократилось до $78,9 \pm 12,3$ минуты, что оказалось существенно меньше показателей группы ммTЭТС ($t = 4,12$; $p < 0,001$) (рис. 2).

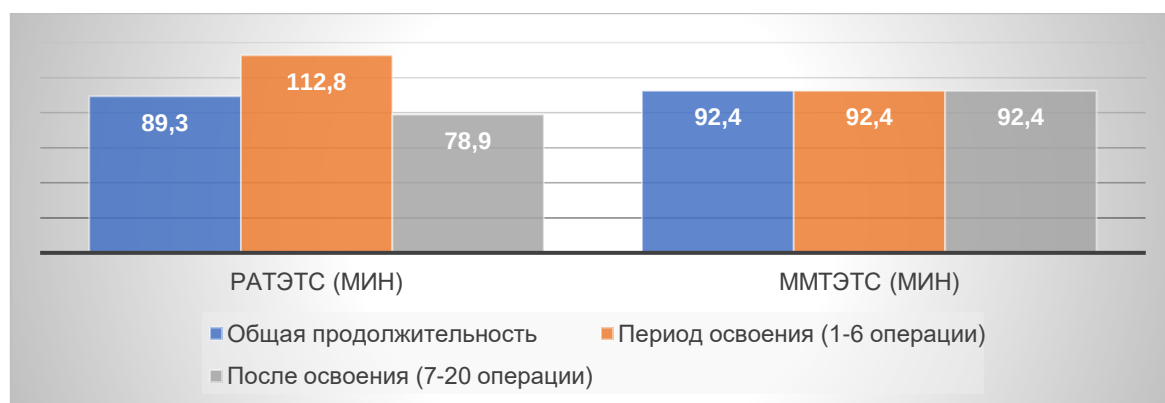


Рис. 2. Временные показатели операций, мин.

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Объем интраоперационной кровопотери продемонстрировал значительные преимущества робот-ассистированной техники. Средние значения кровопотери составили $185,4 \pm 67,8$ мл в группе раТЭТС против $267,3 \pm 89,6$ мл в группе ммТЭТС, что представляет статистически значимое высокое различие согласно t-критерию Стьюдента ($t = 7,23$; $p < 0,001$). Оценка соответствия критериям Fast-track протокола показала существенное превосходство робот-ассистированной методики. Средний балл в группе раТЭТС составил $8,4 \pm 1,2$ против $5,6 \pm 1,8$ балла в группе ммТЭТС, что соответствует различию в 50% и демонстрирует высокую статистическую значимость ($t = 12,47$; $p < 0,001$). Продолжительность госпитализации также оказалась значительно меньше при использовании робот-ассистированной техники. Пациенты группы раТЭТС находились в стационаре в среднем $3,2 \pm 0,8$ дня, в то время как в группе ммТЭТС этот показатель составил $4,7 \pm 1,3$ дня. Применение U-критерия Манна - Уитни подтвердило статистическую значимость различий ($U = 2834,0$; $p < 0,001$) (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение интраоперационных и послеоперационных показателей
в группах раТЭТС и ммТЭТС

Показатель	Группа раТЭТС (n=50)	Группа ммТЭТС (n=50)	р- значение
Интраоперационные			
Кровопотеря, мл (M±SD)	$185,4 \pm 67,8$	$267,3 \pm 89,6$	<0,001*
Послеоперационные			
Fast-track балл (M±SD)	$8,4 \pm 1,2$	$5,6 \pm 1,8$	<0,001*
Госпитализация, дни (M±SD)	$3,2 \pm 0,8$	$4,7 \pm 1,3$	<0,001*

Показатель	Группа раТЭТС (n=50)	Группа ммТЭТС (n=50)	р- значение
Отклонение длины конечности, мм (M±SD)	0,8 ± 0,4	3,2 ± 2,1	<0,001*
Forgotten Joint Score (12 мес., M±SD)	84,7 ± 8,3	78,2 ± 12,1	<0,001*

Анализ послеоперационных осложнений выявил более низкую частоту неблагоприятных исходов в группе раТЭТС. Частота вывихов эндопротеза через 12 месяцев наблюдения составила 1% (1 из 100 случаев) в группе раТЭТС против 4% (4 из 100) в группе ммТЭТС, однако это различие не достигло статистической значимости согласно точному критерию Фишера ($p=0,371$). Существенно более показательными оказались данные по мальпозиции компонентов эндопротеза: в группе раТЭТС не было зарегистрировано ни одного случая мальпозиции (0%), в то время как в группе ммТЭТС этот показатель составил 8% (8 из 100 операций), что представляет статистически значимое различие ($p<0,01$). Точность восстановления длины конечности продемонстрировала выраженные преимущества робот-ассистированной техники. Среднее отклонение от контралатеральной стороны в группе раТЭТС составило всего $0,8 \pm 0,4$ мм по сравнению с $3,2 \pm 2,1$ мм в группе ммТЭТС, что показало высокую статистическую значимость различий ($t=11,89$; $p<0,001$). Функциональные результаты, оцененные по шкале Forgotten Joint Score через 12 месяцев после операции, также продемонстрировали преимущества робот-ассистированной методики. Средний балл в группе раТЭТС составил $84,7 \pm 8,3$ против $78,2 \pm 12,1$ в группе ммТЭТС, что соответствует статистически значимому различию ($t = 4,25$; $p < 0,001$).

Сопоставимые результаты были получены при оценке позиционирования в безопасной зоне Калланана. Робот-ассистированная методика обеспечила корректное размещение 92% эндопротезов, тогда как мануальная техника достигла этого показателя лишь в 62% случаев. Детальный анализ частоты размещения ацетабулярного компонента в безопасной зоне Левиннека выявил превосходство робот-ассистированной технологии. В когорте раТЭТС этот показатель составил 77%, существенно превышая результат мануальной методики, который составил 45%. Данные различия наглядно демонстрируются на рисунке 3.

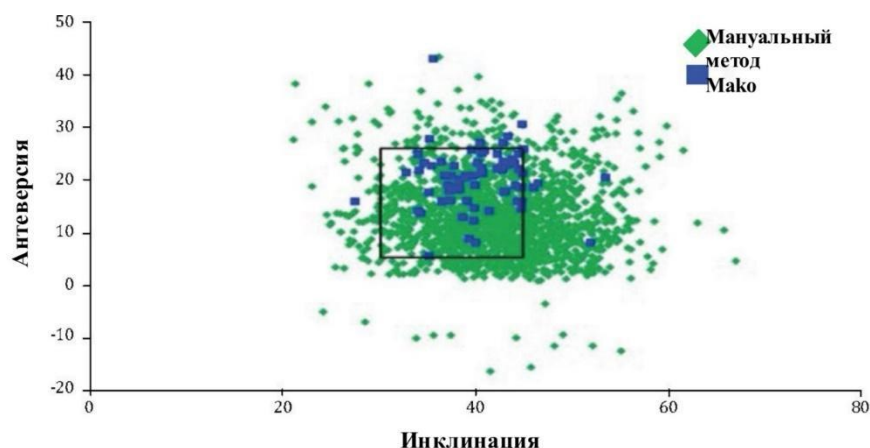


Рис. 3. Сравнение ориентации ацетабулярного компонента с использованием рaТЭТС Мако (100 пац.) и ммТЭТС (100 пац.)

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Пациенты, оперированные с применением робот-ассистированной технологии, демонстрировали улучшенные краткосрочные результаты лечения и достигали наивысших оценок по шкале Forgotten Joint Score [16]. Также у пациентов, перенесших рaТЭТС, показатели Fast-track были на 50% выше, чем у пациентов, которым было выполнено ммТЭТС, это приводило к сокращению продолжительности госпитализации в стационаре и достижению точного выравнивания длины конечности относительно здоровой стороны. Представленные в таблице 2 данные подтверждают превосходство рaТЭТС в отношении точности абдукции (ААВ) и антеверсии (ААV) ацетабулярной чашки. Годичное наблюдение показало более низкую частоту вывихов в группе рaТЭТС по сравнению с мануальной техникой. Средняя расчетная кровопотеря также оказалась значительно меньше у пациентов, получавших робот-ассистированное лечение.

Таблица 2

Послеоперационные результаты у пациентов, прооперированных ммТЭТС, по сравнению с методом рaТЭТС

	Первые 100 случаев ТЭТС мануальным методом	Первые 100 случаев робот-ассистированного ТЭТС
Частота ранних дислокаций (в первые 12 месяцев после операции)	5%	0%
Несоответствие длины конечностей >1,5 см	10%	1%
Расчетная кровопотеря	534 мл	358 мл
ААВ в целевой зоне	66%	100%
ААV в целевой зоне	39%	77%
ААВ и ААV в целевой зоне	30%	77%

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Анализ кривой обучаемости 5 хирургов продемонстрировал обнадеживающие результаты освоения роботической технологии. На начальном этапе продолжительность операций с применением робота превышала время мануальных вмешательств на 20-30 минут. Однако к 6-7-й операции временные характеристики сравнялись с показателями ммТЭТС, а в ряде случаев раТЭТС выполнялись быстрее чем ммТЭТС, что отражено на рисунке 4.



Рис. 4. Кривая обучаемости ТЭТС

Примечание: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Проведенное исследование позволяет выделить успешность раТЭТС перед ммТЭТС. К преимуществам относятся:

- снижение длительности операции при использовании раТЭТС;
- уменьшение объема интраоперационной кровопотери;
- обеспечение индивидуальной имплантации всех компонентов эндопротеза с учетом анатомических особенностей пациента;
- достижение точного выравнивания длины конечности относительно контралатеральной стороны.

Заключение

Сравнительный анализ операции с применением робота и традиционного мануального метода убедительно демонстрирует преимущества робот-ассистированного

эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с диспластическим коксартрозом. Применение раТЭТС обеспечивает повышение скорости операции после освоения методики, значительное улучшение точности установки имплантов, сокращение продолжительности и травматичности хирургического вмешательства, минимизацию интраоперационной кровопотери и ускорение восстановительного периода. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения робот-ассистированных технологий в клиническую практику ортопедической хирургии, особенно при работе с пациентами, имеющими сложные анатомические особенности тазобедренного сустава.

Список литературы

1. Ma M, Cao Z, Yang M, Kong X, Chai W. The invasiveness of robot-assisted total hip replacement is similar to that of conventional surgery. *J Robot Surg.* 2023;17(6):2987-2993. doi:10.1007/s11701-023-01740-6.
2. Prinos A, Buehring W, Di Gangi C, Meere P, Meftah M, Hepinstall M. Robot-assisted total hip arthroplasty demonstrates improved 90-day clinical and patient-reported outcomes. *Arthroplast Today.* 2024;27:101393. doi:10.1016/j.artd.2024.101393.
3. Zhang X, Shen X, Zhang R, Chen M, Ma R, Zhang Z, et al. Radiographic evaluation of robot-assisted versus manual total hip arthroplasty: a multicenter randomized controlled trial. *J Orthop Traumatol.* 2024;25(1):33. doi:10.1186/s10195-024-00773-3.
4. Dretakis K, Raptis K, Koutserimpas C. The use of the robotic arm-assisted system (MAKO) for hip revision surgery. *Arch Bone Jt Surg.* 2024;12(8):608-611. doi:10.22038/ABJS.2024.77543.3582.
5. Hoskins T, Begley B, Giacalone JD, De Wilde K, Maguire F, Wittig J. Mako robotic-arm-assisted total hip and total knee arthroplasty outcomes in an orthopedic oncology setting: a case series. *J Orthop.* 2023;46:70-77. doi:10.1016/j.jor.2023.10.021.
6. Wang Y, Ji B, Chen Y, Li G. [Short-term effectiveness of MAKO robot assisted complex total hip arthroplasty]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2022 May 15;36(5):555-560. Chinese. doi: 10.7507/1002-1892.202109054.
7. Singh A, Kotzur T, Peng L, Emukah C, Buttacavoli F, Moore C. Robot-assisted total hip arthroplasty is associated with an increased risk of periprosthetic fracture. *J Arthroplasty.* 2024;39(9S2):S353-S358. doi:10.1016/j.arth.2024.06.051.
8. Lu H, Sun H, Xiao Q, Xu H, Zhou Q, Li L, et al. Perioperative safety and efficacy of robot-assisted total hip arthroplasty in ERAS-managed patients: a pilot study. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):696. doi:10.1186/s13018-023-04180-y.

9. Guo DH, Li XM, Ma SQ, Zhao YC, Qi C, Xue Y. Total hip arthroplasty with robotic arm assistance for precise cup positioning: a case-control study. *Orthop Surg*. 2022;14:1498-1505. doi:10.1111/os.13334.
10. Zhang S, Liu Y, Yang M, Ma M, Cao Z, Kong X, et al. Robotic-assisted versus manual total hip arthroplasty in obese patients: a retrospective case-control study. *J Orthop Surg Res*. 2022;17:368. doi:10.1186/s13018-022-03263-6.
11. Singh V, Realyvasquez J, Simcox T, Rozell JC, Schwarzkopf R, Davidovitch RI. Robotics versus navigation versus conventional total hip arthroplasty: does the use of technology yield superior outcomes? *J Arthroplasty*. 2021;36(8):2801-2807. doi:10.1016/j.arth.2021.02.074.
12. Kolodychuk N, Su E, Alexiades MM, Ren R, Ojard C, Waddell BS. Can robotic technology mitigate the learning curve of total hip arthroplasty? *Bone Jt Open*. 2021;2(6):365-370. doi:10.1302/2633-1462.26.BJO-2021-0042.R1.
13. Sun H, Lu H, Xiao Q, Ding Z, Luo Z, Zhou Z. The learning curve of a novel seven-axis robot-assisted total hip arthroplasty system: a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25:342. doi:10.1186/s12891-024-07474-2.
14. Cui K, Guo X, Chen Y, Zhong H, Han G, Liu Y. A comparative study of MAKO robotic arm assisted total hip arthroplasty and traditional total hip arthroplasty through posterolateral approach. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2020;34(7):883-888. doi:10.7507/1002-1892.201911077.
15. Llombart-Blanco R, Mariscal G, Barrios C, Vera P, Llombart-Ais R. MAKO robot-assisted total hip arthroplasty: a comprehensive meta-analysis of efficacy and safety outcomes. *J Orthop Surg Res*. 2024;19(1):698. doi:10.1186/s13018-024-05199-5.
16. Behrend H, et al. The "forgotten joint" as the ultimate goal in joint arthroplasty: validation of a new patient-reported outcome measure. *J Arthroplasty*. 2012;27(3):430-436.e1. doi:10.1016/j.arth.2011.06.035.