

Гений ортопедии. 2023;29(5):487-494.

Genij Ortopedii. 2023;29(5):487-494.



Научная статья

УДК [681.5:616.728.3-089.843-77]:616-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2023-29-5-487-494>**Клиническая эффективность и точность выравнивания механической оси при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава**

А.В. Лычагин, А.А. Грицюк, Я.А. Рукин, М.П. Елизаров, А.А. Грицюк✉, М.Я. Гавловский, Т.В. Богатов

Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Андреевич Грицюк, andrewgritsru@gmail.com

Аннотация

Введение. Получен первый опыт в роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава (РоТЭКС), поэтому появилась необходимость обсудить вопросы о клинической эффективности, точности выравнивания оси нижней конечности. **Цель.** Определить клиническую эффективность, точность выравнивания механической оси нижней конечности при РоТЭКС. **Материалы и методы.** 29 пациентам с гонартрозом 3-4 стадии по Kellgren-Lawrence выполнено РоТЭКС. Оценка коленного сустава выполнялась с помощью ВАШ, шкал WOMAC, FJS-12, измерялся объем движений. Изменения оси нижней конечности оценивались по результатам телерентгенограмм. **Результаты.** Болевой синдром до операции по ВАШ – $5,8 \pm 1,5$ балла, в первые сутки после операции – $8,5 \pm 1,4$, на 3 сутки – $5,9 \pm 1,2$, на 12 сутки – $2,9 \pm 1,1$. Объем движений в первые сутки после операции – $99,5 \pm 1,4^\circ$, спустя 3 месяца – $115,1 \pm 1,1^\circ$, через 6 месяцев – $125,6 \pm 1,5^\circ$, через 1 год – $127,5 \pm 1,6^\circ$. По шкале WOMAC показатели до операции – $32,7 \pm 3,3$, после операции – $25,1 \pm 2,1$, через 3 месяца – $7,3 \pm 1,3$, через 6 месяцев – $2,8 \pm 0,2$, через 1 год – $1,3 \pm 0,5$. Оценка по шкале FJS-12 через 3 месяца после операции – $68,2 \pm 4,1$, через 6 месяцев – $80,3 \pm 2,9$, через 1 год – $94,0 \pm 2,1$. Анализ послеоперационных телерентгенограмм в 72 % ($n = 21$) случаев отклонения механической оси от планируемой не выявил, в 28 % ($n = 8$) случаев – отклонение механической оси до 1° от планируемой. **Обсуждение.** По результатам ВАШ, опросникам WOMAC, оценки объема движений определена положительная динамика. По результатам телерентгенограмм отмечается выравнивание оси конечности, точность положения компонентов эндопротеза. **Заключение.** Изучение технологии РоТЭКС продемонстрировало высокую клиническую эффективность, точность выравнивания механической оси позволяет получить хорошие ранние клинические результаты, что в дальнейшем может ускорить возвращение пациентов к оптимальной двигательной активности и улучшить отдаленные клинические результаты.

Ключевые слова: коленный сустав, робот, тотальное эндопротезирование коленного сустава, роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава

Для цитирования: Лычагин А.В., Грицюк А.А., Рукин Я.А., Елизаров М.П., Грицюк А.А., Гавловский М.Я., Богатов Т.В. Клиническая эффективность и точность выравнивания механической оси при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2023;29(5):487-494. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-487-494. EDN: QKZVVF.

Original article

Clinical evaluation and accuracy of mechanical axis alignment in robotic total knee arthroplasty

A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk, Ya.A. Rukin, M.P. Elizarov, A.A. Gritsyuk✉, M.Ya. Gavlovsky, T.V. Bogatov

First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Andrey A. Gritsyuk, andrewgritsru@gmail.com

Abstract

The first experience in robotic total knee arthroplasty (RoTKA) has been obtained resulting in the questions about clinical efficiency and accuracy of lower limb alignment. **Objective** To clarify clinical evaluation and accuracy of alignment of the mechanical axis of the lower limb in RoTKA. **Materials and methods** Twenty-nine patients with osteoarthritis of the knee of Kellgren-Lawrence stage 3-4 underwent RoTKA. The knee joint was assessed with VAS, WOMAC, FJS-12; the range of motion was measured. The changes in the axis of the lower limb were evaluated on the full limb length radiographs. **Results** Pain before the surgery according to VAS was 5.8 ± 1.5 points, on the first day after the surgery it was 8.5 ± 1.4 , on day 3 – 5.9 ± 1.2 , on day 12 – 2.9 ± 1.1 . The range of motion on the first day after the surgery was $99.5^\circ \pm 1.4^\circ$, three months later – $115.1^\circ \pm 1.1^\circ$, six months later – $125.6^\circ \pm 1.5^\circ$, one year later – $127.5^\circ \pm 1.6^\circ$. The WOMAC score before the surgery was 32.7 ± 3.3 , after the surgery 25.1 ± 2.1 , three months later 7.3 ± 1.3 , six months later 2.8 ± 0.2 , and after one year – 1.3 ± 0.5 . The FJS-12 score 3 months after the surgery was 68.2 ± 4.1 , after 6 months 80.3 ± 2.9 , after one year 94.0 ± 2.1 . The analysis of postoperative full length roentgenograms in 72 % of cases ($n = 21$) did not reveal any deviation of the mechanical axis from the planned one and in 28 % of cases ($n = 8$) the deviation of the mechanical axis was up to 1° from the planned one. **Discussion** Neither technical difficulties nor complications inherent to RoTKA were found. According to the results of VAS, WOMAC and FJS-12 questionnaires, and the assessment of the range of motion, a positive dynamics was observed. According to the results of tele-roentgenograms, there was alignment of the limb axis and the accuracy of the position of the endoprosthesis components. **Conclusion** The study of this technology has demonstrated safety, accuracy of alignment of the mechanical axis, validity of indications and contraindications, and stable early clinical results.

Keywords: knee joint, robot, total knee arthroplasty, robotic total knee arthroplasty

For citation: Lychagin A.V., Gritsyuk A.A., Rukin Ya.A., Elizarov M.P., Gritsyuk A.A., Gavlovsky M.Ya., Bogatov T.V. Clinical evaluation and accuracy of mechanical axis alignment in robotic total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2023;29(5):487-494. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-487-494

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартроз является хроническим, прогрессирующим заболеванием, поражающим суставы и характеризующимся дегенерацией суставного хряща, структурными изменениями субхондральной кости и синовиальной оболочки [1]. Гонартроз (остеоартроз коленного сустава (ОКС)) – это поражение коленно-

го сустава, которое проявляется болевым синдромом, ограничением движений и нарушением оси нижней конечности, приводящее к снижению качества жизни пациента [2, 3]. Подходы к его лечению зависят от стадии заболевания, наиболее часто используется клинико-рентгенологическая классификация

Kellgren & Lawrence (1957 г.), в которой авторы предложили выделить 4 стадии заболевания [4].

Гонартроз III-IV стадии (K-L, 1957 г.) при неудовлетворительном эффекте комплексной консервативной терапии является показанием для тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС). Оперативное вмешательство позволяет снизить болевой синдром, устранить деформацию, восстановить амплитуду движений и качество жизни [2, 3, 5-8].

Традиционная (мануальная) техника при первичном ТЭКС основана на применении интра- и экстрамедуллярного направлятеля, ее точность снижается при отсутствии движений в коленном суставе; грубых обширных рубцах, спаянных с подлежащей костью; анкилозе коленного сустава при отсутствии болевого синдрома; наличии в анамнезе предыдущих травм [9]. При грубых деформациях бедренной и большеберцовой костей изменяются анатомические ориентиры, что затрудняет выравнивание и позиционирование имплантата, в таких случаях применяют компьютерную навигацию, но она невыполнима при анкилозе и выраженной контрактуре тазобедренного сустава [10].

Для решения проблем первичного ТЭКС в клиническую практику эндопротезирования более 20 лет на-

зад были внедрены роботы. Существуют 2 группы: полуактивные ортопедические роботы – хирургические системы, которые помогают восстановить ось нижней конечности путем определения уровней и углов корригирующих резекций бедренной и большеберцовой кости, но саму резекцию выполняет хирург; активные ортопедические роботы, которые выполняют резекцию автономно по предоперационному плану, хирург только контролирует процесс. Автономная работа визуально контролируется хирургом и самим роботом от нежелательных эффектов, тем самым обеспечивая безопасность пациента во время операции, что, однако, у некоторых хирургов вызывает сомнения в безопасности применения робота [11-16].

Учитывая вышеизложенные факты, разноречивость литературных данных, неопределенность показаний и противопоказаний к различным методикам операций, безопасности и точности выравнивания оси нижней конечности, определена актуальность изучения данных вопросов в нашем исследовании.

Цель – определить клиническую эффективность и точность выравнивания механической оси нижней конечности при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное неконтролируемое одноцентровое исследование в клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов университетской клинической больницы № 1 кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет) с 2019 по 2021 г.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст старше 18 лет, гонартроз 3-4 степени по классификации Kellgren-Lawrence с болевым синдромом выше 5 баллов по 10-балльной ВАШ;
- риск анестезиологического пособия по шкале ASA не более III;
- наличие письменного информированного согласия на выполнение операции ТЭКС по предложенной методике.

Критерии невключения пациентов в исследование:

- риск анестезиологического пособия по шкале ASA более III (тромбоэмболические и инфекционные осложнения в анамнезе, некорректируемый сахарный диабет, преднизолон-зависимые системные заболевания, анемии и тромбофилии);
- ИМТ в соответствии с рекомендациями разработчика больше 35 кг/м^2 ;
- выраженные деформации коленного сустава (вальгус $> 15^\circ$ или варус $> 15^\circ$), первичные дефекты костной ткани;
- разгибательная контрактура коленного сустава до 90° ;
- наличие металлоконструкции на пораженной стороне.

Критерии исключения пациентов из исследования:

- отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании;
- несоблюдение пациентом предписанного режима.

Информированное согласие о ходе исследования было получено до включения в исследование.

Для клинического исследования согласно критериям включения и невключения отобрано 43 пациента, из них 14 пациентов исключены из исследования в течение года. Подвергнуто анализу 29 пациентов (82,76 % женщин ($n = 24$), 17,24 % мужчин ($n = 5$)), средний возраст составил $67,1 \pm 2,7$ года, средний ИМТ (кг/м^2) – $31,2 \pm 3,4$, средней объем движения – $86,03 \pm 3,7^\circ$, средняя механическая ось до операции составила $170 \pm 1,8^\circ$. Выполнено РотЭКС при помощи роботической ортопедической системы TSolution One® (THINK Surgical Inc., США) под спинальной анестезией, используя медиальный парapatеллярный доступ. Применяли эндопротезы коленного сустава цементной фиксации фирмы Zimmer® Persona с сохранением задней крестообразной связки (Cruciate Retaining (CR)) с фиксированным вкладышем. Пластика надколенника не выполнялась, ограничивались удалением остеофитов и циркулярной денервацией.

В процессе подготовки, планирования операции, послеоперационного периода и реабилитации исследовали:

- 1) обоснованность рекомендуемых производителем показаний и противопоказаний (амплитуда движений коленного сустава меньше 90° , варусная и вальгусная деформация более 15° , наличие металла на стороне поражения коленного сустава, ИМТ $> 35 \text{ кг/м}^2$);
- 2) наличие осложнений;
- 3) уровень болевого синдрома пациентов по ВАШ, показатели по шкале WOMAC, амплитуду движений (Range of motion (ROM)) коленного сустава до и после операции, показатели FJS-12 после операции;
- 4) изменения оси нижней конечности и позиционирование имплантатов на основании КТ-исследования до и после операции.

Статистическая обработка клинического материала заключалась в группировке данных, вычислении интенсивных и экстенсивных показателей, определении средней ошибки относительных величин, определении достоверности разности сравниваемых величин (t), критерия соответствия K , коэффициента Пирсона (Хи-квадрат), коэффициента корреляции многофакторных систем посредством компьютерной программы IBM SPSS Statistics 22.0 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс) – Windows 10 Pro, компьютер – Asus UX 434, процессор Intel Core i7 2,7 ГГц, ОЗУ – 16 Гб. Для истинно числовых (scale) переменных (BAШ, WOMAC, FJS-12, механическая ось) рассчитывали частотные гистограммы и величины статистических параметров, включая среднее арифметическое (M), среднеквадратичное отклонение (σ), статистическую погрешность среднего (m), минимальное и максимальное значение и медиана (Me). Для анализа изменений показателей в динамике использовали критерий Стьюдента, до и после операции использовали двусторонний тест Стьюдента. Различия считали достоверными (статистически значимыми) при $p < 0,05$.

Технология RoTЭКС состоит из 3-х этапов: 1 – КТ-исследования нижних конечностей; 2 – планирование на TPLAN; 3 – операция при помощи установки TSCAT (рис. 1).

На 1 этапе пациенту проводят КТ-исследование нижних конечностей с захватом тазобедренных и голеностопных суставов в положении лежа на спине с полым калибровочным стержнем, который фиксировали к большой конечности (рис. 2).

Калибровочный стержень входит в комплект поставки роботической установки и должен быть отображен на всех срезах КТ-исследования. Шаг среза 1 мм, количество срезов не менее 440 и не более 1300.

Движения пациента во время КТ-исследования строго запрещены.

На 2 этапе (планирование) данные КТ-исследования (компакт-диск) загружают в компьютерный планировщик TPLAN, выполняют пошаговый анализ изображения – сегментацию аксиальных срезов бедренной и большеберцовой костей, помечая костные разрастания (остеофиты). Компьютер преобразует изображения отдельных срезов в 3D-модель коленного сустава пациента, на которую наносит анатомические ориентиры, строит оси, уровень резекции, подбирает размер и положение имплантата, которое оценивается и утверждается хирургом, после чего план операции записывается на компакт-диск (рис. 3).

Хирургический 3 этап начинается с загрузки компакт-диска с планом в хирургическую систему TSCAT, проводится тестирование систем робота и хирургических инструментов. Нестерильная калибровка роботической системы выполняется с участием ассистента и инженера-роботехника, затем ассистентом и операционной сестрой производится драпировка и стерильная калибровка хирургических инструментов робота, после чего подают пациента.

После обработки операционного поля конечность закрепляют в специальном держателе, фиксированном к столу в положении 90-100° сгибания. Выполняют передне-внутренний доступ к коленному суставу, надколенник свободно вывихивают кнаружи. Остеофиты на бедренной и большеберцовой костях не удаляют до костной регистрации. Фиксируют нижнюю конечность пациента в положении сгибания 90° к установке TSCAT специальными фиксаторами и устанавливают калибровочные пин-кнопки и пин-штифты в бедренную и большеберцовую кости (рис. 4).



Рис. 1. Технологическая схема работы роботической ортопедической системы TSolution One® (THINK Surgical Inc., США)



Рис. 2. Укладка пациента во время КТ-исследования с калибровочным стержнем

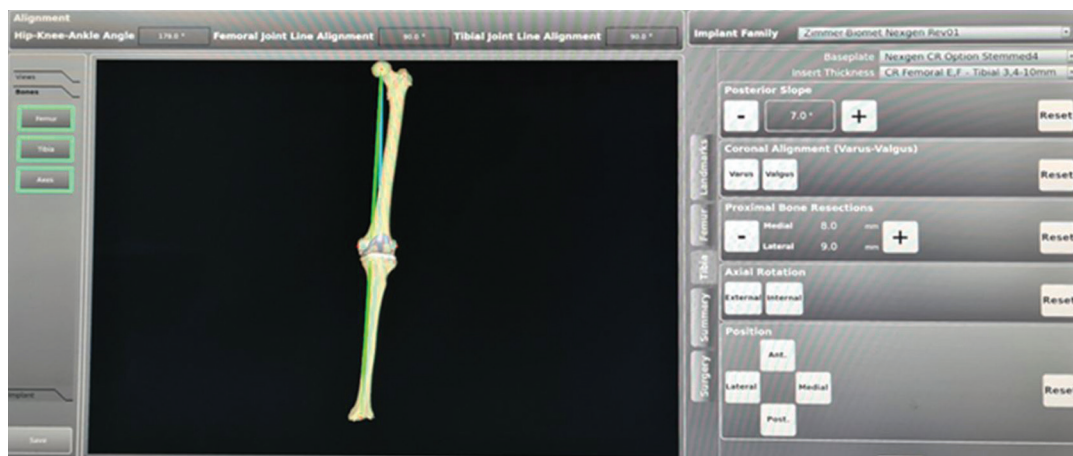


Рис. 3. 3D-модель нижней конечности с установленным положением компонентов эндопротеза



Рис. 4. Фиксация нижней конечности: а – в держатель; б – к роботу

После фиксации нижней конечности к бедренной и большеберцовой кости устанавливаются датчики движения кости (Bone Motion Monitors (BMM's)), производится регистрация, которая выполняется по специальной программе, прописанной в компьютере робота. Выполняется совмещение точек компьютерной томографии и соответствующего виртуального прототипа бедренной и большеберцовой костей, которые были созданы при планировании операции, после чего роботическая установка начинает "видеть" перед собой реальную кость. При каких-либо неточностях, сбоях, движении пациента или конечности более 1 мм, система останавливает работу и потребует повторной костной регистрации при помощи пин-кнопки и пин-штифта (рис. 5, 6).

Программа построена таким образом, что пропустить или неправильно обозначить данные ориентиры невозможно, если система не видит анатомические ориентиры, она не включится. После окончания подготовки робота (фиксация и калибровка) приступают к этапу резекции.

Резекция производится цилиндрической фрезой (8 мм) со скоростью 8000 оборотов в минуту с постоянной ирригацией физиологическим раствором для охлаждения поверхности кости и фрезы (рис. 7).

Резекция производится цилиндрической фрезой (8 мм) со скоростью 8000 оборотов в минуту с постоянной ирригацией физиологическим раствором для охлаждения поверхности кости и фрезы (рис. 7).

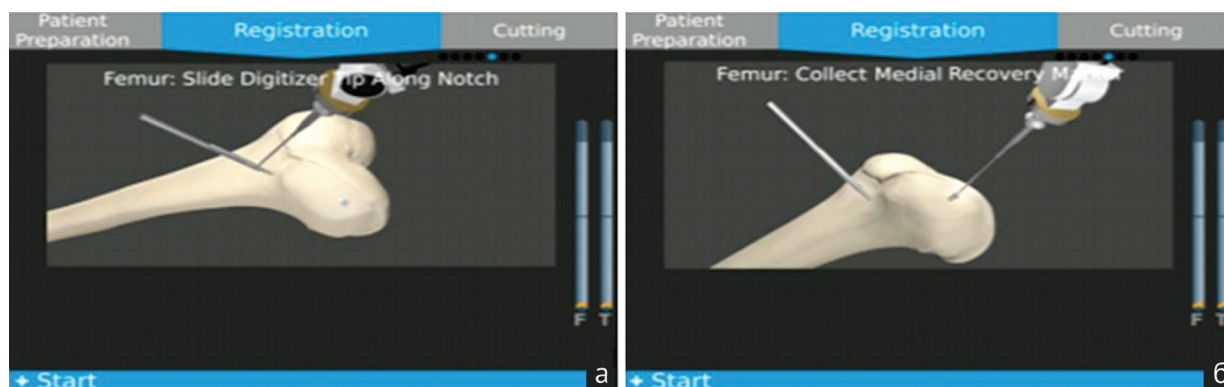


Рис. 5. Вид экрана монитора при регистрации бедренной кости диджитайзером: а – по пин-штифту; б – по пин-кнопке



Рис. 6. Регистрация точек бедренной кости

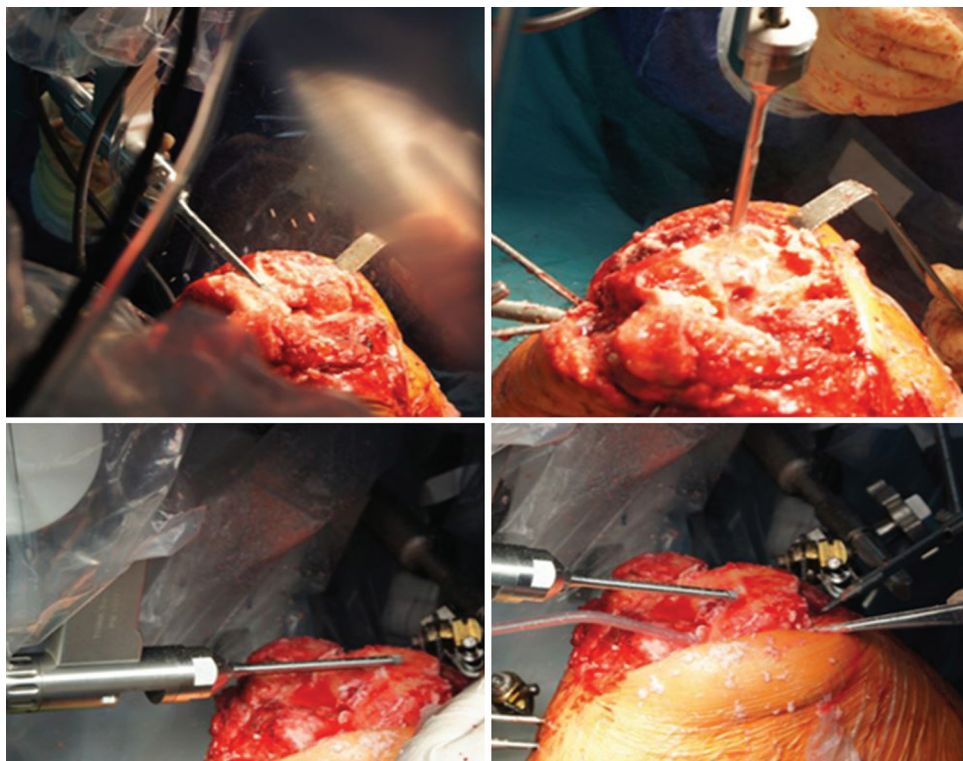


Рис. 7. Этап резекции кости

При этом хирург следит за траекторией движения фрезы и при угрозе повреждения кости и мягких тканей имеет возможность экстренно остановить работу робота, разобрать и устранить проблему. При невозможности продолжить роботизированную операцию (сдвиг кости, неустраняемая потеря ориентиров, препятствие движению фрезы и привода или любая другая причина) робот остановится, после чего хирург перейдет к мануальной технике операции, что обеспечит правильность эндопротезирования коленного сустава.

После завершения этапа резекции робота отсоединяют от пациента и удаляют фиксаторы, пин-кнопки и пин-штифты. Дальнейший ход операции (примерка, балансировка и фиксация эндопротеза в кости) проводится аналогично традиционной технике. Выполняется цементная имплантация компонентов эндопротеза, ушивание раны.

В первые сутки послеоперационного периода выполняется контрольная рентгенография, на 3-5 сутки – КТ-исследование нижних конечностей с нагрузкой (рис. 8).

Программа послеоперационной реабилитации соответствует другим методам эндопротезирования.

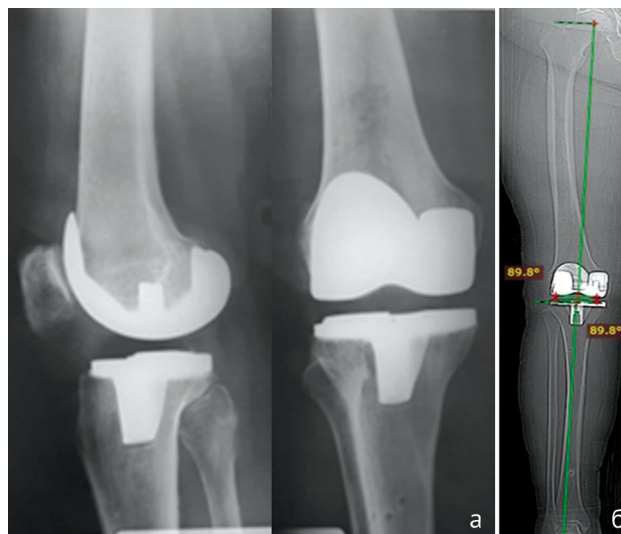


Рис. 8.: а – послеоперационные рентгенограммы коленного сустава в прямой и боковой проекции; б – телерентгенограмма нижней конечности

РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении РоТЭКС осложнений, нежелательных явлений не выявлено (повреждений мягких тканей, кости).

Средний уровень болевого синдрома по ВАШ до операции был достаточно выражен – $5,8 \pm 1,5$ балла (ДИ 95 %, $p = 0,0248$), в первые сутки после операции увеличился до $8,5 \pm 1,4$ (ДИ 95 %, $p = 0,0001$), на 3 сутки отмечалось динамическое снижение до $5,9 \pm 1,2$ (ДИ 95 %, $p = 0,0248$), на 12 сутки болевой синдром был значительно ниже, чем до операции – $2,9 \pm 1,1$ (ДИ 95 %, $p = 0,0248$) (рис. 9).

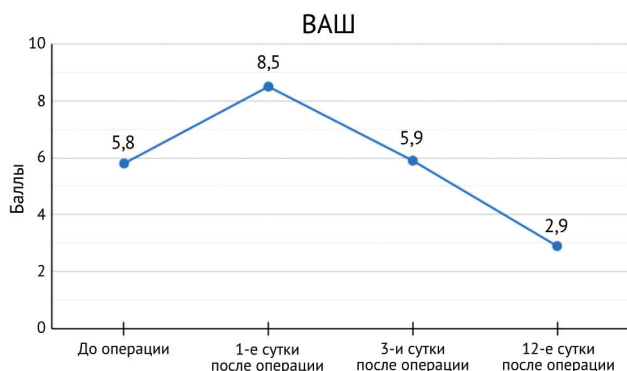


Рис. 9. Динамика болевого синдрома по ВАШ

При исследовании амплитуды движений в оперированном коленном суставе в первые сутки после операции дуга ROM составила $99,5 \pm 1,4^\circ$, спустя 3 месяца после операции амплитуда движений увеличилась до $115,1 \pm 1,1^\circ$, через 6 месяцев – до $125,6 \pm 1,5^\circ$. И через 1 год после операции у всех 29 пациентов амплитуда движений в коленном суставе составила $127,5 \pm 1,6^\circ$ ($p < 0,05$, двусторонний t-критерий) (рис. 10).

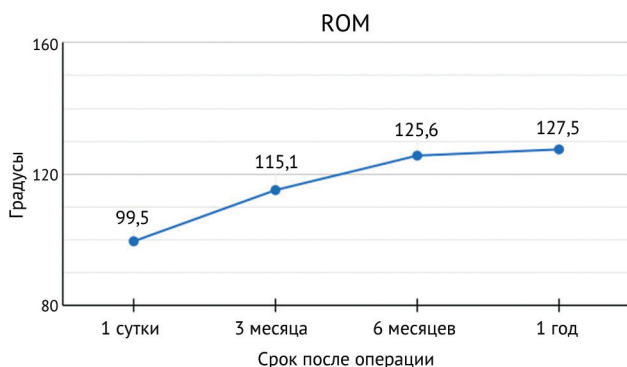


Рис. 10. Динамика амплитуды движений в коленном суставе после операции

До операции средний балл по шкале WOMAC находился в диапазоне «удовлетворительно»: $32,7 \pm 3,3$.

После операции средний балл составил $25,1 \pm 2,1$. Через 3 месяца после операции – $7,3 \pm 1,3$ балла. Через 6 месяцев после операции – $2,8 \pm 0,2$. Через 1 год после операции у всех 29 пациентов – $1,3 \pm 0,5$ балла ($p = 0,0128$, двусторонний t-критерий) (рис. 11).

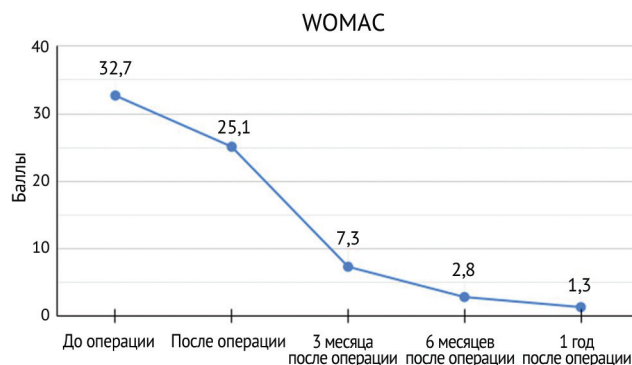


Рис. 11. Динамика показателей по шкале WOMAC

Через 3 месяца после РоТЭКС средний балл по шкале FJS-12 составил $68,2 \pm 4,1$. Через 6 месяцев средние показатели увеличились до $80,3 \pm 2,9$. Через 1 год после операции у всех 29 пациентов средний балл составил $94,0 \pm 2,1$ (рис. 12).

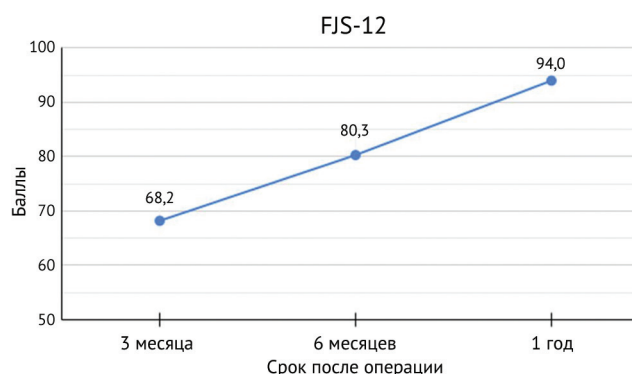


Рис. 12. Динамика показателей по шкале FJS-12 до года после РоТЭКС

Механическая ось нижней конечности до операции в среднем составила $170,5 \pm 1,8^\circ$ варусной деформации, стандартное планирование – 180° . После операции механическая ось составила $179,6 \pm 0,5^\circ$, через год после операции ось сохраняется – $179,7 \pm 0,5^\circ$.

При анализе послеоперационных телерентгенограмм в 72 % ($n = 21$) случаев отклонения механической оси от планируемой не обнаружено, в остальных 28 % ($n = 8$) случаев выявлено отклонение механической оси до 1° от предоперационного плана.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование применения РоТЭКС для первичного ТЭКС показало клиническую эффективность лечения гонартроза.

В раннем послеоперационном периоде по результатам ВАШ наблюдается положительная динамика в виде уменьшения болевого синдрома после роботизированного эндопротезирования, к такому же мнению при-

ли В. Kayani et al. (2019 г.), С. Batailler et al. (2021 г.) и J.C. Wang et al. (2022 г.), отмечая снижение потребности в опиатной анальгезии по сравнению с мануальной техникой, однако в исследовании D.A. Hamilton et al. (2021 г.) значимой разницы в интенсивности болевого синдрома при сравнении двух методик не было обнаружено [21, 22, 26-29].

Показатели ROM, WOMAC и FJS-12 после операции в нашем исследовании были значительно улучшены по сравнению с показателями до оперативного вмешательства, что также отражается в исследованиях других авторов, но степень улучшения требует сравнения с мануальной техникой и компьютерной навигацией [20, 21, 23, 25, 27, 30].

При наличии у пациентов выраженных деформаций нижних конечностей (варус/вальгус $> 15^\circ$) невозможно построить оси на установке TPLAN, т.к. в техническом условии (программа резекции кости) головка малоберцовой кости ограничивает возможности резекции, поэтому деформации более 15° являются противопоказанием. Ряд авторов не объясняет это в своих исследованиях, однако J. Chan et al. (2020 г.) и B.N. Stulberg et al. (2021 г.) включали в исследование пациентов с углом деформации во фронтальной плоскости до 20° , в нашем исследовании мы не смогли этого подтвердить [11, 17-20].

Фиксация нижней конечности проводится в специальном держателе в положении $90-100^\circ$ сгибания коленного сустава для правильной работы робота. При разгибательной контрактуре данный этап выполнить невозможно, т.к. рабочая зона руки робота не будет в фокусе, что будет являться противопоказанием [11, 17, 19, 21].

Особенности предоперационного планирования и автоматического функционирования робота диктуют жесткое требование – отсутствие металла или эндопротеза тазобедренного сустава на оперируемой стороне, что может экранировать кость при планировании, делая невозможным маркировку анатомических ориентиров, и мешать функционированию робота при резекции [11, 17-19].

Нежелательных явлений, специфичных осложнений, присущих PoTЭКС, во время операции и исследований не выявлено, а именно, повреждений мягких тканей и кости, что делает данную методику безопасной к применению и подтверждается в исследованиях других авторов интраоперационно у пациентов и на кадаверных материалах [16, 18, 22].

В нашем исследовании отклонения механической оси от предоперационного плана более 1° не было. Согласно литературным данным, выравнивание механической оси нижней конечности при PoTЭКС в пределах $\pm 3^\circ$ допустимо. В исследованиях B.N. Stulberg (2021 г.)

при PoTЭКС отклонения от предоперационного плана более чем $\pm 3^\circ$ было только в 11,2 % случаев, в исследовании N.V. Vaidya et al. (2022 г.) – в 3,1 % случаев [11, 18, 20, 22-25].

В исследовании M.H.L. Liow et al. (2017 г.) выделили следующие показания к PoTЭКС (идеальный пациент): возраст пациента < 60 лет; ИМТ < 25 кг/м²; легкая или умеренная деформация во фронтальной плоскости; интактный сосудисто-нервный пучок пораженной конечности. Относительные противопоказания включают ожирение с тяжелой деформацией во фронтальной плоскости $> 15^\circ$, фиксированной сгибательной контрактурой $> 15^\circ$, воспалительной артропатией и нестабильностью связок [17].

Исследование J. Chan et al. (2020 г.) проводилось по следующим критериям: критерии включения – возраст от 21 года, зрелый скелет – о чем свидетельствуют закрытые зоны роста. Критерии исключения: предшествующие открытые операции на пораженном коленном суставе; ИМТ > 40 кг/м²; деформация во фронтальной плоскости $> 20^\circ$; сгибательная контрактура $> 15^\circ$; необходимость в двустороннем ТЭКС; активная системная инфекция, инфекция области коленного сустава, предшествующая инфекция коленного сустава; наличие металлоизделия на ипсилатеральной нижней конечности; недостаточный костный запас; патологическое состояние костей [19].

В исследовании B.N. Stulberg et al. (2021 г.) PoTЭКС выполняли по следующим показаниям: отсутствие в анамнезе предыдущих открытых операций на пораженном коленном суставе; ИМТ ≤ 40 кг/м²; деформация во фронтальной плоскости $< 20^\circ$ или сгибательная контрактура $< 15^\circ$ [11].

К сожалению, авторы в своих исследованиях не объясняют, почему выполняли PoTЭКС по данным показаниям.

Авторы понимают проблемы данного исследования: одноцентровой характер, небольшая выборка пациентов, отсутствуют отдаленные результаты, нет исследований с типом связанности эндопротеза без сохранения задней крестообразной связки (Posterior Stabilized (PS)) и др. Данные проблемы требуют дальнейшего продолжения исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение технологии PoTЭКС продемонстрировало высокую клиническую эффективность, точность выравнивания механической оси и позволяет получить хорошие ранние клинические

результаты, что в дальнейшем может ускорить возвращение пациентов к оптимальной двигательной активности и улучшить отдаленные клинические результаты.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Хитров Н.А. Остеоартроз и остеоартрит – от новых взглядов на патогенез к новому названию. *Медицинский Совет*. 2013;(4):74-78. doi: 10.21518/2079-701X-2013-4-74-78
- Речкунова О.А., Чернышева Т.В., Гурьянов А.М. и др. Оценка качества жизни пациентов, перенесших эндопротезирование коленного сустава, на этапах восстановительного лечения. *Оренбургский медицинский вестник*. 2022;X(2):35-38.
- Lychagin A, Elizarov M, Gritsyuk A. et al. Robot-assisted Knee Arthroplasty: Randomized Clinical Trial. *Open Access Maced J Med Sci*. 2022;10(B):559-564. doi: 10.3889/oamjms.2022.8685
- Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis*. 1957;16(4):494-502. doi: 10.1136/ard.16.4.494
- Мансуров Д.Ш., Уразовская И.Л., Сайганов С.А. и др. Роль артропластики в комплексном лечении остеоартрита коленного сустава. *Политравма*. 2022;(3):80-88. doi: 10.24412/1819-1495-2022-3-80-88

6. Мурылев В.Ю., Ерохин Н.Е., Елизаров П.М. и др. Ранние результаты одномышечкового эндопротезирования медиального отдела коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):153-165. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-153-165
7. Savov P, Tuecking LR, Windhagen H, et al. Imageless robotic handpiece-assisted total knee arthroplasty: a learning curve analysis of surgical time and alignment accuracy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021;141(12):2119-2128. doi: 10.1007/s00402-021-04036-2
8. Филь А.С., Тараканов В.Н., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н. Тренды в первичной артропластике коленного сустава в Национальном медицинском исследовательском центре травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена и их сравнительный анализ с данными международных национальных регистров: схож ли наш путь? *Гений ортопедии*. 2020;26(4):476-483. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-4-476-483
9. *Руководство по первичному эндопротезированию коленного сустава*. Под ред. Т.А. Кулябы, Н.Н. Корнилова, Р.М. Тихилова. Санкт-Петербург: НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена; 2022:636.
10. Герасименко М.А., Жук Е.В., Лознухо П.И. и др. Использование системы компьютерной навигации при тотальном эндопротезировании коленного сустава. *Военная медицина*. 2018;(2):135-139.
11. Stulberg BN, Zadilka JD. Active robotic technologies for total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021;141(12):2069-2075. doi: 10.1007/s00402-021-04044-2
12. Лычагин А.В., Грицок А.А., Рукин Я.А., Елизаров М.П. История развития робототехники в хирургии и ортопедии (Обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2020;(1):13-19. doi: 10.17238/issn2226-2016.2020.1.13-19
13. Лычагин А.В., Рукин Я.А., Грицок 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
14. Han S, Rodriguez-Quintana D, Freedhand AM, et al. Contemporary Robotic Systems in Total Knee Arthroplasty: A Review of Accuracy and Outcomes. *Orthop Clin North Am*. 2021;52(2):83-92. doi: 10.1016/j.ocl.2020.12.001
15. Siddiqi A, Horan T, Molloy RM, et al. A clinical review of robotic navigation in total knee arthroplasty: historical systems to modern design. *EFORT Open Rev*. 2021;6(4):252-269. doi: 10.1302/2058-5241.6.200071
16. St Mart JP, Goh EL. The current state of robotics in total knee arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2021;6(4):270-279. doi: 10.1302/2058-5241.6.200052
17. Liow MHL, Chin PL, Pang HN, et al. THINK surgical TSolution-One® (Robodoc) total knee arthroplasty. *SICOT J*. 2017;3:63. doi: 10.1051/sicotj/201705
18. Stulberg BN, Zadilka JD, Kreuzer S, et al. Safe and effective use of active robotics for TKA: Early results of a multicenter study. *J Orthop*. 2021;26:119-125. doi: 10.1016/j.jor.2021.07.001
19. Chan J, Auld TS, Long WJ, et al. Active Robotic Total Knee Arthroplasty (TKA): Initial Experience with the TSolution One® TKA System. *Surg Technol Int*. 2020;37:299-305.
20. Xu J, Li L, Fu J, et al. Early Clinical and Radiographic Outcomes of Robot-Assisted Versus Conventional Manual Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Study. *Orthop Surg*. 2022;14(9):1972-1980. doi: 10.1111/os.13323
21. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, et al. An assessment of early functional rehabilitation and hospital discharge in conventional versus robotic-arm assisted unicompartmental knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J*. 2019;101-B(1):24-33. doi: 10.1302/0301-620X.101B1.BJJ-2018-0564.R2
22. 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
23. Ali M, Kamson A, Yoo C, et al. Early Superior Clinical Outcomes in Robotic-Assisted TKA Compared to Conventional TKA in the Same Patient: A Comparative Analysis. *J Knee Surg*. 2023;36(8):814-819. doi: 10.1055/s-0042-1743232
24. Vaidya NV, Deshpande AN, Panjwani T, et al. Robotic-assisted TKA leads to a better prosthesis alignment and a better joint line restoration as compared to conventional TKA: a prospective randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(2):621-626. doi: 10.1007/s00167-020-06353-2
25. Li Z, Chen X, Wang X, et al. HURWA robotic-assisted total knee arthroplasty improves component positioning and alignment – A prospective randomized and multicenter study. *J Orthop Translat*. 2022;33:31-40. doi: 10.1016/j.jot.2021.12.004
26. Wang JC, Piple AS, Hill WJ, et al. Computer-Navigated and Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty: Increasing in Popularity Without Increasing Complications. *J Arthroplasty*. 2022;37(12):2358-2364. doi: 10.1016/j.arth.2022.06.014
27. Batailler C, Fernandez A, Swan J, et al. MAKO CT-based robotic arm-assisted system is a reliable procedure for total knee arthroplasty: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(11):3585-3598. doi: 10.1007/s00167-020-06283-z
28. Hamilton DA, Ononuju U, Nowak C, et al. Differences in Immediate Postoperative Outcomes Between Robotic-Assisted TKA and Conventional TKA. *Arthroplast Today*. 2021;8:57-62. doi: 10.1016/j.artd.2021.01.017
29. King CA, Jordan M, Bradley AT, et al. Transitioning a Practice to Robotic Total Knee Arthroplasty Is Correlated with Favorable Short-Term Clinical Outcomes-A Single Surgeon Experience. *J Knee Surg*. 2022;35(1):78-82. doi: 10.1055/s-0040-1712984
30. Mancino F, Rossi SMP, Sangaletti R, et al. A new robotically assisted technique can improve outcomes of total knee arthroplasty comparing to an imageless navigation system. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(5):2701-2711. doi: 10.1007/s00402-022-04560-9

Статья поступила в редакцию 31.03.2023; одобрена после рецензирования 14.08.2023; принята к публикации 25.08.2023.

The article was submitted 31.03.2023; approved after reviewing 14.08.2023; accepted for publication 25.08.2023.

Информация об авторах:

1. Алексей Владимирович Лычагин – доктор медицинских наук, директор клиники, заведующий кафедрой, профессор кафедры, clinic@travma.moscow;
2. Андрей Анатольевич Грицок – доктор медицинских наук, профессор кафедры, drgaamma@gmail.com;
3. Ярослав Алексеевич Рукин – кандидат медицинских наук, заведующий отделением, доцент кафедры, yar.rukin@gmail.com;
4. Михаил Павлович Елизаров – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры, elizarovm07@gmail.com;
5. Андрей Андреевич Грицок – аспирант кафедры, andrewgritsru@gmail.com;
6. Максим Ярославович Гавловский – аспирант кафедры, gavlovsky.m@yandex.ru;
7. Тимофей Викторович Богатов – студент, bogatov-timofey@rambler.ru.

Information about the authors:

1. Alexey V. Lychagin – Doctor of Medical Sciences, Director of the Clinic, Head of the Department, Professor of the Department, clinic@travma.moscow;
2. Andrey A. Gritsyuk – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, drgaamma@gmail.com;
3. Yaroslav A. Ruikin – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, Assistant Professor, yar.rukin@gmail.com;
4. Mikhail P. Elizarov – Candidate of Medical Sciences, Assistant of the Department of the Department, elizarovm07@gmail.com;
5. Andrey A. Gritsyuk – Post-graduate student of the department, andrewgritsru@gmail.com;
6. Maxim Ya. Gavlovsky – Post-graduate student of the Department, gavlovsky.m@yandex.ru;
7. Timofey V. Bogatov – Student, bogatov-timofey@rambler.ru.