


На правах рукописи



Рукин Ярослав Алексеевич

Ревизионное эндопротезирование коленного сустава

3.1.8. Травматология и ортопедия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Москва - 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Научный консультант:

доктор медицинских наук, профессор

Лычагин Алексей Владимирович

Официальные оппоненты:

Корнилов Николай Николаевич – доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра травматологии и ортопедии, профессор кафедры; отделение №17, заведующий отделением; отделение патологии коленного сустава, ведущий научный сотрудник отделения

Ахтямов Ильдар Фуатович – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра травматологии, ортопедии и экстремальных состояний, заведующий кафедрой

Брижань Леонид Карлович – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации, заместитель начальника по научно-исследовательской работе

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «19» февраля 2024 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.26 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет) по адресу: 191435, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 1

С диссертацией можно ознакомиться в ЦНМБ ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет) (119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д. 37/1 и на сайте организации www.sechenov.ru

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, профессор

Тельпухов Владимир Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Тотальное эндопротезирование является наиболее эффективным методом лечения тяжелых дегенеративных поражений коленного сустава различного генеза [Г. М. Кавалерский, 2020; М. Ш. Расулов, 2021; P. J. Favorito, 2002]. Несмотря на впечатляющий успех данной операции и постоянное развитие технологий, до 20% пациентов остаются неудовлетворенными ее результатами [Г. М. Кавалерский, 2015; F. Canovas, 2018; P. J. Favorito, 2002]. Выделяют следующие основные причины неудачи тотального эндопротезирования коленного сустава: расшатывание компонентов эндопротеза вследствие износа пары трения, перипротезная инфекция, нарушения пателлофemorального сустава, контрактуры, нестабильность связочного аппарата [С. А. Божкова, 2016; A. Postler, 2018; В. Н. Karadia, 2014]. С ростом количества тотальных эндопротезирований возрастает потребность и в ревизионном тотальном эндопротезировании коленного сустава (рТЭКС). К сожалению, в Российской Федерации до сих пор нет единого национального регистра эндопротезирования и сложно отследить статистику данных операций [Р. М. Тихилов, 2014]. По данным S. Kurtz et al. (2007) количество тотальных эндопротезирований коленного сустава в США с 2005 года по 2030 год возрастет на 673% и составит 3,48 млн процедур в год, а количество ревизионных эндопротезирований коленного сустава возрастет на 601% и составит 381 400 операций в год.

Показания к ревизионному эндопротезированию коленного сустава не всегда очевидны. Часто при удовлетворительном положении эндопротеза на рентгенограммах пациенты остаются недовольными результатами операции, что требует более глубокого обследования: компьютерной томографии, телерентгенографии или топографии нижней конечности, исключения инфекции, экстраартикулярных проблем и т. д. [F. Canovas, 2018]. Так, дифференциальная диагностика перипротезной инфекции до сих пор остается не полностью решенной проблемой [Т. Gehrke, 2015]. Ревизионное эндопротезирование коленного сустава, выполненное без четкого определения причин, заведомо приведет к отрицательному результату [Т. А. Куляба, 2012; В. Ю. Мурылев, 2019].

Степень разработанности темы исследования

Ревизионная операция технически всегда более сложная, чем первичная. Это связано с выраженным дефицитом поддерживающей костной ткани вследствие остеолита и (или) травматического удаления компонентов эндопротеза, несостоятельностью связочного аппарата, измененными или отсутствующими анатомическими ориентирами, важными для правильного расположения компонентов эндопротеза [A. Zanirato, 2018]. Необходимо использование

специальных ревизионных систем [В. А. Базлов, 2019; R. W. Rutherford, 2018]. Имеющиеся классификации учитывают только дефицит костной ткани без состояния связочного аппарата коленного сустава, что затрудняет подбор ревизионных систем [G. A. Engh, 1999; D. Ponzio, 2015].

До сих пор нет четких критериев, как восстанавливать уровень суставной щели при ревизионном эндопротезировании коленного сустава [Г. Ю. Бовкис, 2020; М. В. Гиркало, 2018].

«Золотым стандартом» при лечении перипротезной инфекции (ППИ) коленного сустава остается двухэтапное ревизионное эндопротезирование: первый этап – удаление компонентов эндопротеза с установкой спейсера; второй этап – удаление спейсера с установкой ревизионного эндопротеза [В. Ю. Мурылев, 2013; P. Izakovicova, 2019]. До сих пор не сформировано единое мнение, какой продолжительности должен быть промежуток между двумя операциями [I. R. Tozun, 2020; P. D. Benedetto, 2017]. Когда этот промежуток затягивается, ввиду экономических или иных причин, все более актуальным становится точное позиционирование компонентов спейсера для сохранения функционального результата у этой сложной группы пациентов [Алексеев С. С., 2022].

Остаются противоречия в отношении замещения протяженных костных дефектов при ревизионном эндопротезировании коленного сустава, имеющиеся на рынке онкологические системы очень дороги, нужны альтернативные пути [А. А. Черный, 2019].

До сих пор остается нерешенной задача эффективного восстановления разгибательного аппарата коленного сустава при ревизионном эндопротезировании. Связка надколенника подвержена очень большим нагрузкам, нужны очень прочные материалы, а применение синтетических материалов для ее пластики часто приводит к развитию перипротезной инфекции [Т. А. Куляба, 2017; Г. М. Кавалерский, 2014].

Количество опубликованных отдаленных результатов ревизионного эндопротезирования коленного сустава невелико [P. J. H. van Rensch, 2020]. Однако имеющиеся литературные данные показывают, что результаты ревизионного эндопротезирования коленного сустава хуже, чем результаты первичного эндопротезирования коленного сустава, что связано с перечисленными выше причинами [Т. А. Куляба, 2012].

Цель исследования

Улучшение результатов лечения пациентов, подлежащих ревизионному эндопротезированию коленного сустава.

Задачи исследования

1. Разработать и оценить эффективность методики динамической компьютерной томографии коленного сустава для верификации расшатывания компонентов эндопротеза.
2. Разработать методику и инструменты для прецизионной установки компонентов эндопротеза и восстановления уровня суставной щели коленного сустава при ревизионном эндопротезировании и оценить эффективность их применения.
3. Разработать способ аутопластики связки надколенника при рТЭКС и оценить результаты его применения.
4. Обосновать эффективность и безопасность замещения протяженных костных дефектов при рТЭКС с помощью индивидуальных компонентов, созданных посредством 3D печати.
5. Обосновать целесообразность сокращения интервала между операциями при двухэтапном ревизионном эндопротезировании коленного сустава по поводу хронической перипротезной инфекции.
6. Разработать и внедрить в клиническую практику методику артродезирования коленного сустава с помощью индивидуальных имплантов, изготовленных посредством 3D печати у пациентов с рецидивирующей перипротезной инфекцией.
7. Оценить эффективность предложенных путей оптимизации системы лечения пациентов с неудовлетворительными результатами эндопротезирования коленного сустава.

Научная новизна

1. Впервые разработана методика уточненной диагностики расшатывания компонентов эндопротеза коленного сустава с применением динамической компьютерной томографии.
2. Впервые разработаны эффективная методика и инструмент для прецизионного восстановления уровня суставной щели при рТЭКС; получены патенты РФ на изобретение и на полезную модель.
3. Впервые разработаны эффективная методика и инструмент для восстановления сгибательного промежутка и ротации бедренного компонента при рТЭКС; получены патенты РФ на изобретение и на полезную модель.
4. Впервые определен оптимальный интервал между операциями двухэтапного рТЭКС при перипротезной инфекции.
5. Впервые разработана методика аутопластики связки надколенника при рТЭКС, получен патент РФ на изобретение.

6. Впервые разработана методика и определены показания к артрорезированию коленного сустава с применением индивидуальных 3D конструкций при рецидивах перипротезной инфекции.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Методика динамической МСКТ позволяет уточнить показания к ревизионному эндопротезированию коленного сустава.

2. Разработанные методики прецизионного восстановления уровня суставной щели, сгибательного промежутка, ротации бедренного компонента, восстановления связки надколенника, замещения протяженных костных дефектов коленного сустава позволяют улучшить функциональные результаты лечения, снизив частоту неудовлетворительных исходов.

3. Обоснование безопасности сокращения интервала между операциями при двухэтапном ревизионном эндопротезировании коленного сустава позволяет существенно уменьшить общие сроки лечения пациентов и улучшить функциональные результаты.

4. Разработанная методика артрорезирования коленного сустава с применением индивидуальных конструкций в ряде случаев может явиться альтернативой ампутации конечности у пациентов с рецидивирующей ППИ.

Методология и методы исследования

Исследование основано на анализе хода и результатов лечения 427 пациентов, которым в период 2014–2021 гг. в травматолого-ортопедическом отделении Университетской клинической больницы №1 Клинического центра ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) было выполнено тотальное ревизионное эндопротезирование коленного сустава, что составило 80,4% от общего количества пациентов, которым выполнялась ревизия протезированного коленного сустава (531). Пациенты были разделены на две основные группы (инфекционные и неинфекционные показания к рТЭКС) и три дополнительные группы. Каждую из групп, кроме дополнительной группы 5, разделяли на основную и контрольную подгруппы, которые отличались применяемыми методиками лечения.

Оценивали и сравнивали результаты лечения пациентов в каждой из групп в отношении объема движений в оперированном коленном суставе и по специализированным опросникам, также оценивали и сравнивали количество осложнений.

Положения, выносимые на защиту

1. Проблему улучшения результатов ревизионного эндопротезирования коленного сустава следует решать комплексно, с применением персонифицированного подхода по таким основным направлениям как своевременное выявление расшатывания компонентов первично установленного эндопротеза, совершенствование позиционирования компонентов ревизионного эндопротеза, эффективное и безопасное восстановление разгибательного аппарата коленного сустава, оптимизация тактики при развитии перипротезной инфекции.

2. Ранняя диагностика расшатывания компонентов эндопротеза коленного сустава позволяет своевременно определить показания к ревизионному эндопротезированию и добиться лучших результатов. Эта задача может быть решена с помощью динамической компьютерной томографии.

3. Прецизионная и стабильная установка компонентов эндопротеза коленного сустава является условием достижения хороших функциональных результатов. Решению такой задачи в сложных анатомических условиях ревизионного эндопротезирования способствуют разработанные методики, подтвержденные патентами РФ.

4. Безопасное сокращение интервала между операциями при двухэтапном ревизионном эндопротезировании коленного сустава на фоне перипротезной инфекции является важным фактором для улучшения функциональных результатов лечения и повышения качества жизни пациентов.

Степень достоверности и апробация результатов

Полученные результаты диссертационного исследования основаны на сравнительном анализе результатов лечения 427 пациентов с осложнениями после тотального эндопротезирования коленного сустава и анализе 391 научной публикации по данному профилю. Все данные, собранные в процессе исследования обработаны с помощью соответствующих методов статистического анализа.

Основные положения данной работы были доложены на: VI Евразийском конгрессе травматологов-ортопедов (24 августа 2017, Казань); Объединенной Всероссийской научно-образовательной конференции, посвященной памяти профессора А.Н. Горячева, и VII научно-образовательной конференции травматологов и ортопедов ФМБА России (31 марта – 1 апреля 2017, Омск); XI Всероссийском съезде травматологов-ортопедов .Достижения российской травматологии и ортопедии. (11–13 апреля 2018, Санкт-Петербург); VII Съезде травматологов-ортопедов Армении (25–26 октября 2018, Ереван, Армения); Международной конференции травматологов-ортопедов .Травма 2018: Мультидисциплинарный подход. (2–3 ноября 2018, Москва); International Hip and Knee Meeting (1–3 ноября 2018, 7–9 ноября 2019, Palma de Mallorca,

Spain); V Съезде травматологов-ортопедов Сибирского федерального округа (22 августа 2019, Барнаул); 40th SICOT Orthopaedic World Congress (4–7 декабря 2019, Muscat, Oman); Ежегодной научно-практической конференции с международным участием .Вреденовские чтения. (27–8 сентября 2018, 25–6 августа 2022, Санкт-Петербург); XII Всероссийском съезде травматологов-ортопедов (1– 3 декабря 2022, Москва); I Съезде травматологов-ортопедов Приволжского федерального округа (19 – 20 мая 2022, Нижний Новгород).

Апробация диссертационной работы проведена на заседании кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (г. Москва, 12.06.2023, протокол №7).

Внедрение результатов исследования в практику

Основные научные положения, выводы и практические рекомендации внедрены в учебный процесс кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Института клинической медицины имени Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), а также в лечебный процесс УКБ №1 ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Московского городского центра эндопротезирования костей и суставов ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина ДЗМ.

Личный вклад автора

Настоящая работа основана на личном опыте автора в лечении пациентов с осложнениями после первичного эндопротезирования коленного сустава. Автор сам провел анализ актуальной отечественной и зарубежной литературы по данной теме исследования, сформулировал цели и задачи, разработал новые методы диагностики и лечения, выделил и проанализировал результаты лечения в разных группах пациентов. Автор лично провёл операции у всех 427 пациентов, входящих в исследование. Самостоятельно выполнен сбор и статистический анализ результатов исследования, сформулированы выводы и практические рекомендации, написан текст диссертации и автореферата.

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования автором опубликовано 37 печатных работ, в том числе 22 научных статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета/ Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора

наук; 5 статей в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus, PubMed, MathSciNet, zbMATH, Chemical Abstracts, Springer; 5 иных статей; 5 патентов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия, области науки: медицинские науки, пунктам 1, 3, 4 направлений исследований.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 267 страницах стандартного компьютерного текста, иллюстрирована 19 таблицами, 132 рисунками (1 рисунок в приложении), состоит из введения, обзора литературы, главы материалов и методов исследования, 3 глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 400 источников (109 отечественных и 291 иностранный), и 4 приложений, в которых отображены диагностические шкалы, используемые в исследовании.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В исследование включены результаты обследования и лечения 427 пациентов, которым в период 2014 – 2021 гг. в травматолого-ортопедическом отделении УКБ № 1 Клинического центра ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) было выполнено тотальное ревизионное эндопротезирование коленного сустава. Среди пациентов, вошедших в исследование, преобладали женщины (326 человек), что составило 85,2 %. Средний возраст составил $68,9 \pm 9,2$ лет, в диапазоне от 39 до 91 года. Большинство пациентов принадлежало к пожилому и старческому возрасту, причем доля нетрудоспособных лиц составила 85,5 %. 25,8 % пациентов, подлежащих ревизионному эндопротезированию коленного сустава в нашей клинике, страдали избыточной массой тела, 68,4 % - ожирением, среди которых 9,6 % пациентов имели ожирение 3 степени с ИМТ 40 и более.

Критерии включения:

- Наличие показаний к ревизионному тотальному эндопротезированию коленного сустава.
- Возраст старше 18 лет.
- Наличие письменного информированного согласия пациента на участие в исследовании.

Критерии невключения:

- Противопоказания к ревизионному эндопротезированию коленного сустава, вызванные общесоматической или психической патологией.
- Пациенты с перипротезной инфекцией коленного сустава, которым первый этап двухэтапного ревизионного эндопротезирования (установка спейсера) выполнен в другом лечебном учреждении.
- Пациенты с показаниями к ревизии одномышечкового эндопротеза коленного сустава.
- Невозможность проведения послеоперационной реабилитации по стандартному протоколу вследствие общесоматических, психических нарушений или ортопедической патологии контралатеральной конечности.

Критерии исключения:

- Отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании.
- Нарушение пациентом предписанного режима, повлекшее развитие осложнений или потребовавшее существенного изменения реабилитационного протокола.

рТЭКС выполняли по следующим показаниям:

- Хроническая перипротезная инфекция (144 пациента (33,7 %)).
- Асептическое расшатывание одного или нескольких компонентов эндопротеза (120 пациентов (28,1 %)).
- Клинически значимое нарушение пространственной ориентации одного или нескольких компонентов эндопротеза (70 (16,4 %)).
- Клинически значимая нестабильность связочного аппарата коленного сустава (39 пациентов или (9,1 %)).
- Перипротезный перелом (23 пациента (5,4 %)).
- Разрушение одного или нескольких компонентов эндопротеза (31 пациент (7,3 %)).

Если при обследовании мы не выявляли очевидные показания к рТЭКС, то для уточнения диагноза выполняли динамическую мультиспиральную компьютерную томографию (дМСКТ) по разработанной нами методике.

Если и при этом исследовании признаков расшатывания эндопротеза не было выявлено, ревизионное эндопротезирование коленного сустава не считали показанным, и искали экстраартикулярные причины болей (ипсилатеральный тазобедренный сустав, пояснично-крестцовый отделы позвоночника), или направляли пациента к смежным специалистам, которые назначали соответствующее консервативное лечение. Такие пациенты в наше исследование не вошли. В то же время дМСКТ позволила в 24,1 % случаев выявить ранее не распознанные

признаки расшатывания компонентов эндопротеза (35 пациентов), которые в наше исследование были включены.

На основании проведенного первичного обследования пациенты были разделены на имеющих неинфекционные показания к рТЭКС (283 человека) и инфекционные показания (144 человека) – всего 427 пациентов.

Группа 1 (n = 283) – неинфекционные показания к рТЭКС.

Группа разделена на две подгруппы: 1-О (основную) и 1-К (контрольную). В подгруппу 1-О вошли 152 пациента, оперированных с января 2018 года, когда в клинике стали применять новые методики и инструментарий, разработанные для восстановления суставной щели коленного сустава, сгибательного промежутка и ротации бедренного компонента. В подгруппу 1-К вошёл 131 пациент, операции у которых были выполнены до этого срока с применением стандартных методик.

Группа 2 (n=144) – инфекционные показания к рТЭКС (верифицированная перипротезная инфекция). Всем пациентам выполнили двухэтапное ревизионное эндопротезирование коленного сустава: на первом этапе – удаление имплантов, санация очага и установка спейсера; на втором этапе – установка ревизионного эндопротеза. Группа разделена на две подгруппы: 2-О (основную) и 2-К (контрольную). В подгруппу 2-О вошли 67 пациентов, оперированных с января 2019 года, когда в соответствии с опубликованными рекомендациями европейской школы по диагностике и лечению перипротезной инфекции под руководством А. Grampruz в госпитале Charite в Берлине (Pro-Implant Foundation) интервал между двумя этими этапами хирургического вмешательства составил от 14 до 21 суток. В подгруппу 2-К вошли 77 пациентов, оперированных до января 2019 года, у которых интервал между операциями, в соответствии с ранее применяемыми методиками, был более продолжительным и ни в одном случае не был короче 28 суток.

Кроме того, был проведен анализ результатов операций, выполненных по особым показаниям, для чего сформировано еще 3 дополнительных группы наблюдения из числа пациентов, ранее уже вошедших в состав как 1-й, так и 2-й групп.

Дополнительная группа 3 (n = 13) – пациенты с клинически значимой несостоятельностью связки надколенника. Группа 3 разделена на две подгруппы: 3-О (основную) и 3-К (контрольную). В подгруппу 3-О вошли 6 пациентов (1 из группы 1, и 5 из группы 2), которым с января 2017 года выполнена аутопластика связки по разработанной нами методике. В подгруппу 3-К вошли 7 пациентов (2 из группы 1 и 5 из группы 2), которым выполнили пластику иными, ранее известными способами.

Дополнительная группа 4 (n = 42) – пациенты со значительными костными дефектами, требующими замещения перед имплантацией компонентов эндопротеза. Группа 4 разделена на

две подгруппы: 4-О (основную) и 4-К (контрольную). В подгруппу 4-О вошел 21 пациент (17 из группы 1, и 4 из группы 2), которым с ноября 2017 года пластику костных дефектов при рТЭКС выполняли с использованием индивидуальных конструкций (конусов или аугментов), напечатанных на 3D принтере. В подгруппу 4-К вошел 21 пациент (17 из группы 1 и 4 из группы 2), которым выполнили пластику костных дефектов с применением аугментов ревизионной системы NexGen LССК или конусов из трабекулярного металла Zimmer-Biomet.

Дополнительная группа 5 (n = 3) – пациенты с многократными (от 2 до 5 раз) рецидивами глубокой перипротезной инфекции коленного сустава. В этих случаях дальнейшие попытки сохранить движения в коленном суставе за счет рТЭКС признаны нецелесообразными и рискованными ввиду опасности обострения и генерализации инфекционного процесса. Им выполнено артродезирование коленного сустава с применением разработанной нами методики, используя индивидуально напечатанных на 3D принтере титановых конструкций (Таблица 1).

Таблица 1 – Временная шкала этапов исследования

группа	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
1	1-К (контрольная)			1-О (основная)					
2	1-К (контрольная)				1-О (основная)				
3-О	1-К (контрольная)		1-О (основная)						
4-О	1-К (контрольная)			1-О (основная)					
5									

При поступлении в клинику проводили клиническое обследование, включающее сбор жалоб, анамнеза, локальное обследование коленного сустава и смежных сегментов, лучевое обследование, включающее рентгенографию коленного сустава в двух проекциях, топограмму нижних конечностей, МСКТ коленных суставов. При наличии подозрений в отношении инфекционного характера осложнений выполняли диагностическую пункцию коленного сустава с цитологическим и микробиологическим анализом синовиальной жидкости. Проводили анкетирование пациентов с применением шкал ВАШ, WOMAC, OKS и FJS – 12.

Наиболее частым методом интраоперационного обезболивания (87,8 %) явилась спинномозговая анестезия, которую применили у 375 пациентов. В остальных 52 случаях применили комбинированный эндотрахеальный наркоз, что было связано с индивидуальными особенностями пациентов. 273 пациентам (63,9 %) перед операцией устанавливали эпидуральный катетер для дополнительной анестезии во время операции и пролонгированного обезболивания в раннем послеоперационном периоде.

Операцию выполняли в положении лежа на спине с упором под стопу и боковым упором для средней трети бедра. Хирургический доступ осуществляли с иссечением старого послеоперационного рубца. Перед артротомией выполняли пункцию коленного сустава, полученную синовиальную жидкость отправляли на цитологическое и микробиологическое исследование. Во всех случаях использовали медиальную артротомию, в 13 случаях использовали расширенные доступы. Выполняли удаление рубцов в верхнем завороте, вокруг надколенника, в области связки надколенника, тем самым осуществляя релиз разгибательного аппарата. После медиальной артротомии сначала с помощью долота удаляли полиэтиленовый вкладыш эндопротеза, что позволяло значительно уменьшить натяжение мягких тканей. Стабильно фиксированный бедренный компонент отделяли от кости с помощью пилы Джигли и тонкого лезвия осцилляторной пилы, после чего снимали экстрактором. Стабильно фиксированный большеберцовый компонент отделяли от кости с помощью тонкого лезвия осцилляторной пилы, далее выбивали из кости. При рТЭКС максимально резецировали измененные, патологические ткани и очищали суставные концы костей от рубцов и мембран. Всегда начинали с последовательно (с шагом в 1 мм) рассверливания канала большеберцовой кости до плотной фиксации риммера и примерочного стержня. Далее с помощью интрамедуллярного направителя выполняли очень экономную резекцию большеберцовой кости, фактически очищая ее от костного цемента или рубцов. Имеющиеся дефекты заполняли с помощью аугментов или метафизарных конусов или предварительно подготовленных, напечатанных на 3D принтере титановых имплантов. Выполняли обработку кости под киль большеберцового компонента с соблюдением необходимой ротации. Устанавливали примерочный большеберцовый компонент. Канал бедренной кости также последовательно обрабатывали риммерами до плотной фиксации. Учитывая наличие дефицита кости, дистальную резекцию бедра не выполняли. С помощью интрамедуллярного направителя немного исправляли переднюю, заднюю и косые резекции для восстановления оптимальной ротации бедренного компонента (если была кость) и реципрокной пилой выполняли резекцию под бокс бедренного компонента эндопротеза. Имеющиеся дефекты заполняли блоками (дистальными, задними, передним) или метафизарным конусом или предварительно подготовленным, напечатанным на 3D принтере титановым имплантом. Вопрос о замене надколенника при рТЭКС решали индивидуально, в зависимости как от данных предоперационного обследования, так и от операционных находок. Такую замену выполнили в 378 случаях, что составило 88,5 % от общего числа операций рТЭКС.

Если заведомо не планировали импланты большой степени связанности (VVC или Hinge) ввиду значительного дефицита связочного аппарата коленного сустава, то примерку импланта начинали с вкладышей PS. В случаях, если на связанности PS не получалось достичь

необходимой стабилизации связочного аппарата, то переходили на более связанные конструкции. Проверляли пассивное разгибание и сгибание с возвращением на место разгибательным аппаратом с помощью цапки. После обильного промывания раны и костных поверхностей с помощью системы Pulsavac на костном цементе устанавливали компоненты эндопротеза в следующей последовательности: большеберцовый, бедренный, примерочный вкладыш, надколенник. После полимеризации цемента устанавливали окончательный вкладыш эндопротеза. Рану послойно ушивали наглухо, с оставлением одного дренажа.

В большинстве случаев после операции пациенты возвращались в отделение, минуя реанимационное отделение. Мы выделяли следующие основные направления раннего послеоперационного ведения пациентов после рТЭКС: стабилизация общего состояния, анальгетическая терапия, профилактика инфекционных осложнений, профилактика тромбоэмболических осложнений, лечебная физкультура.

Пациентам, у которых причина болевого синдрома после рТЭКС оставалась неясной, выполняли динамическую мультиспиральную компьютерную томографию. Для этого пациента укладывали в аппарате с валиком под коленным суставом так, чтобы сгибание составляло 90°. Во время проведения компьютерного сканирования больной осуществлял плавное разгибание в суставе до максимально возможного в течение 10–12 секунд. Томографию выполняли в объемном режиме. После оценки по изображениям maximum intensity projection (MIP) (толщина среза 0,5 мм) и 3D реконструкции проводили реконструкцию и анализ в режиме 4D. На MIP изображениях в трех плоскостях сустава в статичном положении рисовали 4-5 линий, каждая из которых соединяла точку в структуре компонента с точкой в структуре кортикальной кости, в которой находился этот компонент. Компьютер анализировал реконструкцию функционального исследования и отображал длину каждой из линий в процессе разгибания коленного сустава, формируя сводный график, где кривые или изолинии разных цветов соответствовали изменениям длины каждой из линий. Учитывая наличие остаточных артефактов от металлоконструкций, нами была принята погрешность измерения, равная 1 мм. Если мы наблюдали, что длина хотя бы одной линии, которая должна оставаться неизменной при стабильном положении компонента эндопротеза менялась на 1,5 мм или более, то делали вывод о нестабильном положении компонентов эндопротеза (Рисунок 1).

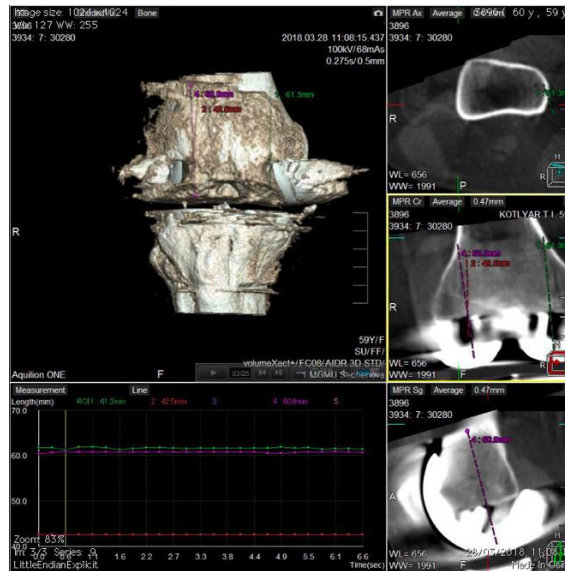


Рисунок 1 – Оценка стабильности бедренного компонента с помощью дМСКТ. На 0,6 секунде происходит изменение длины зеленой линии на 2 мм. Можно предположить расшатывание бедренного компонента эндопротеза

Всего было обследовано 210 человек, обратившихся с болями в области оперированного коленного сустава после ТЭКС, у которых природа боли после базового обследования осталась не выясненной. С помощью дМСКТ, расшатывание компонентов эндопротеза было выявлено всего у 35 пациентов, что составило 16,7 % от общего количества обследованных. При этом у 12 пациентов (5,7 %) было выявлено расшатывание только бедренного компонента эндопротеза, у 19 пациентов (9,0 %) – расшатывание только большеберцового компонента, и у 4 пациентов (1,9 %) расшатывание обоих компонентов эндопротеза.

Пациентам, у которых с помощью дМСКТ была выявлена нестабильность бедренного или большеберцового компонентов, выполнена операция рТЭКС, в ходе которой диагноз нестабильности подтвержден во всех случаях. В то же время, отмечено 4 случая, когда по результатам дМСКТ компоненты эндопротеза были признаны стабильными, и на этом основании пациентам было отказано в операции рТЭКС. Они, согласно нашему алгоритму, были направлены на дополнительное обследование и консервативное лечение, однако вследствие сохраняющихся болей и дисфункции им впоследствии все же было выполнено рТЭКС. В ходе операции выявлено расшатывание бедренного (2 случая) и большеберцового (2 случая) компонентов. Эти ошибки составили 1,9 % от всех выполненных исследований.

Таким образом, предложенная техника дМСКТ для верификации расшатывания компонентов эндопротеза показала высокую результативность (98,1 %) в отношении верификации причин болевого синдрома у пациентов после первичного ТЭКС и позволила уточнить показания к рТЭКС, которые были подтверждены интраоперационно. Тем не менее, в 4 случаях (1,9 %) дМСКТ не позволила выявить расшатывание компонентов эндопротеза. Это может свидетельствовать о том, что не всегда при движениях в коленном суставе без нагрузки

происходит смещение расшатанных компонентов эндопротеза по отношению к кости. Наши наблюдения позволяют рекомендовать методику дМСКТ для уточненной диагностики в тех случаях, когда традиционные методы обследования не позволяют уверенно определить показания к выполнению рТЭКС.

В соответствии с дизайном исследования, в 1-ю группу наблюдения вошли 283 пациента, имеющие неинфекционные показания к рТЭКС.

Изменение уровня суставной щели является одной из частых проблем после эндопротезирования коленного сустава. Нами была предложена методика регулируемого восстановления уровня суставной щели при рТЭКС и разработан инструмент для этого, на что получены патенты на изобретение «Способ ревизионного эндопротезирования коленного сустава» № 2800022, приоритет изобретения от 15 июля 2022 года; и патент на полезную модель «Устройство для определения положения суставной щели при ревизионном эндопротезировании коленного сустава» № 217000, приоритет полезной модели от 15 июля 2022 года.

Суть метода заключается в том, что в качестве ориентира для восстановления уровня суставной щели при рТЭКС использовали уровень суставной щели по отношению к верхушке головки малоберцовой кости с контралатеральной стороны – либо не оперированной (чаще всего), либо после выполненной операции ТЭКС при условии точно установленного и хорошо функционирующего эндопротеза. При планировании операции на топограмме или откалиброванной рентгенограмме в прямой проекции контралатерального коленного сустава измеряли уровень суставной щели по отношению к головке малоберцовой кости (FHJL). Для этого проводили линию, проходящую через наиболее выступающие точки наружного и внутреннего мыщелков бедренной кости, и от нее опускали перпендикуляр к верхушке головки малоберцовой кости. Длина этого перпендикуляра и составляла уровень суставной щели (FHJL). Для восстановления необходимого уровня суставной щели при рТЭКС было разработано «Устройство для определения положения суставной щели при ревизионном эндопротезировании коленного сустава». Устройство состоит из цилиндрического стержня, который с помощью резьбы соединяли с примерочным стержнем эндопротеза. На стержень нанесена миллиметровая шкала. На второй стержень с помощью винтового зажима фиксируется щуп, состоящий из основания, представленного полым цилиндром, с внутренним диаметром равным диаметру второго стержня и расположенным перпендикулярно ему телескопическим щупом, первая часть которого представлена полым цилиндром наружным диаметром 7 мм, внутренним 2 мм, длиной 20 мм, вторая часть фиксируется в первой с помощью винтового зажима, имеет диаметр равный внутреннему диаметру первой части, длину 25 мм и изгиб под углом 120 – 140 градусов на расстоянии $\frac{3}{4}$ от начала второй части, так, чтобы нижняя часть щупа располагалась на уровне

нижнего края полого цилиндра, который указывает расстояние на миллиметровой шкале (Рисунок 2).

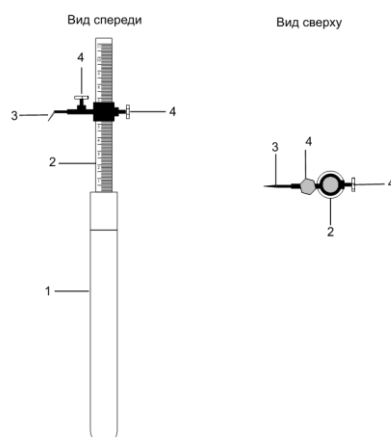


Рисунок 2 – Устройство для определения положения суставной щели при ревизионном эндопротезировании коленного сустава. 1 – примерочный стержень эндопротеза, 2 – стержень с миллиметровой шкалой, 3 – телескопический щуп, 4 – винтовые зажимы

Во время операции после рассверливания канала большеберцовой кости и экономной резекции тибиального плато, это устройство на примерочном стержне устанавливали в канал большеберцовой кости. Щуп располагали на вершшке головки малоберцовой кости. По миллиметровой шкале определяли расстояние от уровня вершшки головки малоберцовой кости до уровня резекции большеберцовой кости (TLFH) (Рисунок 3).

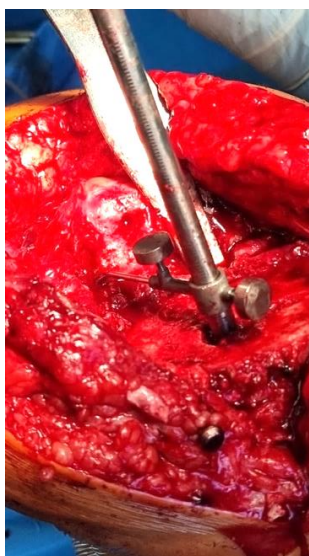


Рисунок 3 – Устройство для определения положения суставной щели при ревизионном эндопротезировании коленного сустава на примерочном стержне установлено в канал большеберцовой кости. Щуп расположен на вершшке головки малоберцовой кости. TLFH = 11

мм

Уровень суставной щели (JL) от уровня резекции большеберцовой кости рассчитывали, как $JL = FNJL + TLFH$. Толщина большеберцового компонента системы NexGen составляет 3 мм. Зная это и устанавливая полиэтиленовый вкладыш необходимой толщины, можно с точностью восстановить уровень суставной щели коленного сустава по здоровой стороне. Если максимальной толщины вкладыша недостаточно, то можно применить дополнительные металлические большеберцовые блоки для поднятия суставной щели.

Положение бедренного компонента в аксиальной плоскости влияет на ширину и равномерность сгибательного промежутка и также критично для правильной работы пателлофemorального сустава.

Нами была предложена методика регулируемой установки ротации бедренного компонента и сгибательного промежутка и разработан инструмент, на что были получены патент на изобретение «Способ установки ротации бедренного компонента и сгибательного промежутка при первичном и ревизионном эндопротезировании коленного сустава» № 2800021, приоритет изобретения от 08 июля 2022 года и патент на полезную модель «Устройство для установки ротации бедренного компонента и сгибательного промежутка при первичном и ревизионном эндопротезировании коленного сустава» № 216034, приоритет полезной модели от 08 июля 2022 года.

В качестве ориентира, как и при установке разгибательного промежутка, использовали контралатеральную сторону. На компьютерной томограмме проводили линию через наиболее задние точки наружного и внутреннего мыщелков бедренной кости и опускали к этой линии перпендикуляры от наружного и внутреннего надмыщелков (Рисунок 4).

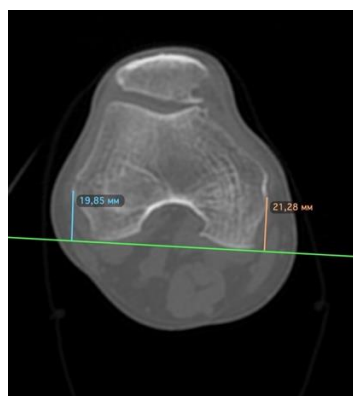


Рисунок 4 – Определение расположения сгибательного промежутка относительно надмыщелков бедренной кости. Расстояние от наружного надмыщелка составляет 20 мм, от внутреннего надмыщелка – 21 мм

Для установки уровня сгибательной щели и ротации бедренного компонента строго параллельно межнодмыщелковой линии было предложено следующее устройство. Инструмент представляет собой корпус прямоугольной формы, в центральной части верхней поверхности

которого выполнен направляющий элемент, а на задней поверхности корпуса по краям длинной стороны прикреплены винтовым соединением к корпусу цапки, установленные с возможностью выдвижения, при этом в направляющем элементе установлена с возможностью перемещения Т-образная планка, в передней части которой расположена сквозная прорезь для резекции, а на другой части планки нанесена миллиметровая шкала. Кроме того, в направляющем элементе выполнены отверстия для фиксации его пинами к бедренной кости. Во время операции устройство располагали на бедренной кости, фиксируя цапки на наружном и внутреннем надмыщелках. С помощью миллиметровой шкалы устанавливали планку на рассчитанный уровень по здоровой стороне, принимая во внимание толщину задних отделов бедренного компонента (обычно 9 мм) (Рисунок 5).

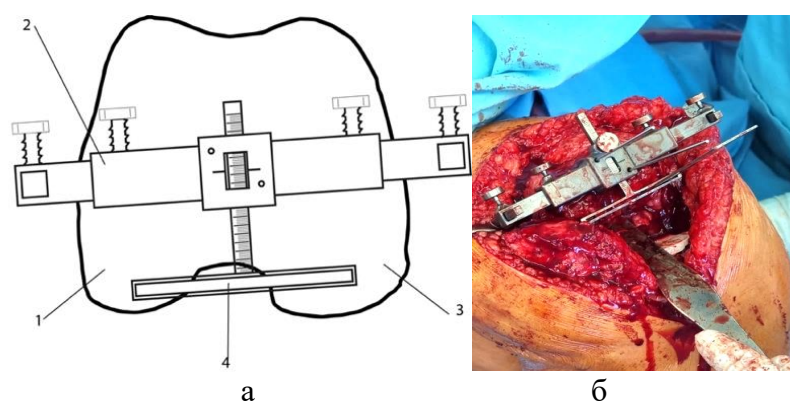


Рисунок 5 – Расположение устройства на кости
 а – схема: 1 – наружный мыщелок бедренной кости, 2 - устройство, 3 – внутренний мыщелок бедренной кости, 4 – прорезь для пилы. б – интраоперационное применение: устройство расположено на надмыщелках бедренной кости и дополнительно фиксировано спицами; прорезь выдвинута на рассчитанную длину

Результаты позиционирования компонентов эндопротеза были прослежены у 283 пациентов 1-й группы наблюдения, имевших неинфекционные показания к рТЭКС. Традиционную технику операции применили у 131 пациента контрольной подгруппы (1-К), а разработанные нами методики, подтвержденные патентами РФ, были применены у 152 пациентов основной подгруппы (1-О). Обе подгруппы были сопоставимы по возрасту и полу. Средний срок оценки результатов пациентов подгруппы 1-О составил $27,6 \pm 9,5$ месяцев (минимум 14 месяцев), а пациентов подгруппы 1-К – $38,1 \pm 12,5$ месяцев (минимум 24 месяца). В подгруппе 1-О отклонения FHJL, MEFG и LEFG после рТЭКС по сравнению с результатами, полученными на контралатеральном суставе, были статистически значимо меньше.

Также был проведен анализ отклонения ротации бедренного компонента от межнадмыщелковой линии после рТЭКС. В подгруппе 1-О среднее отклонение от межнадмыщелковой линии составило $0,6 \pm 1^\circ$, в подгруппе 1-К $2,1 \pm 1,7^\circ$ - разница составила $1,5^\circ$ ($p < 0,01$).

Таким образом, при анализе рентгенограмм и компьютерных томограмм контралатеральных коленных суставов, а также топограмм и компьютерных томограмм коленных суставов после рТЭКС, можно сделать вывод о том, что предлагаемые нами методики восстановления уровня суставной щели, сгибательного промежутка и ротационного положения бедренного компонента эндопротеза оказались точнее по сравнению со стандартными методиками.

Мы провели анализ амплитуды движений в коленном суставе в основной и контрольной группах до и после рТЭКС. В подгруппе 1-О было достигнуто статистически значимое увеличение объема сгибания по сравнению с подгруппой 1-К. В отношении разгибания статистически значимых отличий отмечено не было.

Мы провели анализ результатов лечения по шкалам ВАШ, WOMAC, OKS и FJS-12. В подгруппе 1-О, где пациентам в ходе операции применили разработанные нами методики, при одинаковом уровне снижения болевого синдрома были достигнуты статистически значимо лучшие результаты по всем шкалам оценки функционального состояния оперированных суставов (WOMAC, OKS и FJS-12) (Таблица 2).

Таблица 2 – Средние показатели шкал-опросников до и после рТЭКС у пациентов 1-й группы (в баллах)

Группа	Подгруппа 1-О		Подгруппа 1-К	
	До операции	После операции	До операции	После операции
ВАШ	8,3 ± 1,5	1,3 ± 1,9	8,4 ± 1,5	1,4 ± 1,9
WOMAC	67,6 ± 17,3	14,2 ± 11,3	68,2 ± 17,6	18,2 ± 13,1
OKS	44 ± 9,9	20,5 ± 7,7	44,4 ± 10	24,8 ± 9,5
FJS – 12	40,3 ± 5,8	11,7 ± 9,4	40,3 ± 5,7	14,9 ± 11,4

Всего у пациентов 1-й группы отмечено 8 осложнений (2,8 %), потребовавших повторного вмешательства – 5 в подгруппе 1-О и 3 – в подгруппе 1-К.

Одним из тяжелых, трудно поддающихся лечению осложнений после или во время тотального эндопротезирования коленного сустава является повреждение связки надколенника. Мы предложили новый метод пластики связки надколенника, на который получен патент на изобретение № 2791888 «Способ аутопластики связки надколенника», приоритет изобретения от 29 марта 2022 года. Метод заключается в следующем. В качестве трансплантата использовали сухожилия двух малоберцовых мышц справа и слева. После установки компонентов ревизионного эндопротеза коленного сустава разрезом длиной 1–1,5 см в проекции сухожилия длинной малоберцовой мышцы на уровне около 5 см выше верхушки наружной лодыжки осуществляли доступ к сухожилию, которое выделяли. Сухожилие пересекали максимально дистальнее и прошивали. С помощью хирургического стриппера, продвигаемого проксимально, сухожилие отсекали от мышечной части. Проксимальный край сухожилия также прошивали.

Таким образом получали сухожильный трансплантат длиной около 200 мм, диаметром около 4 - 5 мм (Рисунок 6).

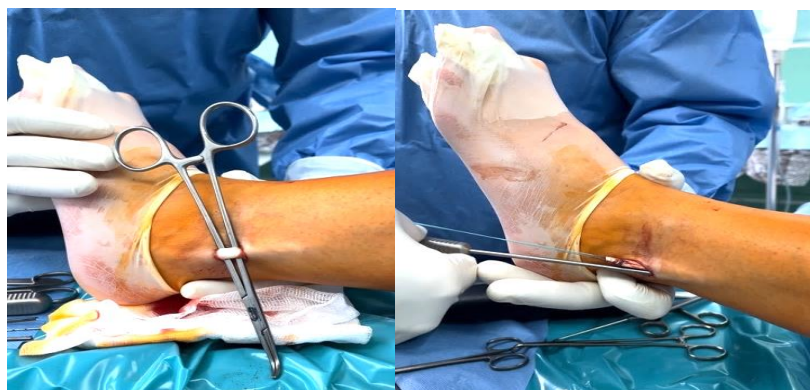


Рисунок 6 – Выделение и прошивание сухожилия длинной малоберцовой мышцы

Аналогичным образом забирали сухожилие длинной малоберцовой мышцы с контралатеральной стороны. В средней и нижней частях надколенника делали два поперечных канала сверлом, диаметром равным диаметру одного из забранных сухожилий. Сухожилия проводили через эти отверстия так, чтобы с обеих сторон оставались равные части трансплантатов. На расстоянии 5 - 10 мм медиально и латерально от бугристости в зависимости от размеров большеберцовой кости, сверлом диаметром, равным диаметру сложенных вместе двух сухожилий, дистально косо проводили два сквозных отверстия с прохождением противоположной кортикальной кости. Концы обоих сухожилий проводили через эти отверстия, натягивали с помощью нитей и фиксировали интерферентными винтами, диаметром равными диаметру отверстий (Рисунок 7).

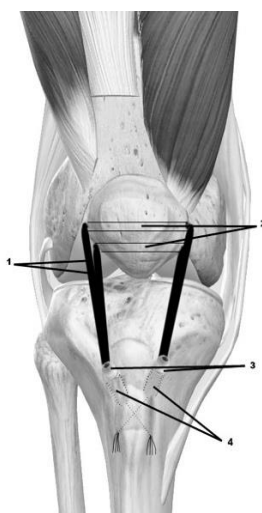


Рисунок 7 – Способ аутопластики связки надколенника (схема)

1 – сухожилия длинных малоберцовых мышц, 2 – поперечные каналы в надколеннике, 3 – косые каналы в большеберцовой кости, 4 – интерферентные винты

В 3-ю дополнительную группу вошли 13 пациентов. В 6 случаях, начиная с января 2017 года, применили разработанный метод аутопластики связки надколенника. Эти 6 пациентов составили основную подгруппу (3-О). Контрольную подгруппу (3-К) составили 7 пациентов, оперированные до 2017 года с применением других методов пластики связки надколенника. У 10 пациентов (76,9 %) несостоятельность связки надколенника отмечена на фоне перипротезной инфекции, что могло быть связано с неоднократными хирургическими вмешательствами после первичного ТЭКС и лизисом связки на фоне гнойного процесса. Средний срок наблюдения за пациентами 3-й дополнительной группы составил $36,6 \pm 13,1$ месяцев (минимум 23 месяца).

После выполненной операции рТЭКС в подгруппе 3-О отмечена меньшая частота перипротезной инфекции: 1 случай против 3 в подгруппе 3-К, причем в подгруппе 3-О отмечен рецидив перипротезной инфекции, а в подгруппе 3-К – 2 случая рецидива, и один инфекции, развившейся впервые у пациентки, которая проходила лечение по поводу асептического расшатывания большеберцового компонента эндопротеза с пластикой связки надколенника аллотрансплантатом ($p = 0,58$).

Дальнейший сравнительный анализ проводили только у пациентов без рецидива или вновь выявленной перипротезной инфекции. Дефицит активного разгибания распределился следующим образом: в подгруппе 3-О средние значения составили $3 \pm 2,7^\circ$, в подгруппе 3-К – $11,3 \pm 7,5^\circ$ ($p = 0,16$).

По шкале ВАШ в подгруппе 3-О средний результат был $1,5 \pm 0,6$ балла; в подгруппе 3-К – $2,7 \pm 1,2$ баллов ($p = 0,13$).

Средний балл по шкале WOMAC в подгруппе 3-О составил $17 \pm 8,1$; в подгруппе 3-К – $29 \pm 8,2$ ($p = 0,11$).

Средний балл по шкале OKS в подгруппе 3-О составил $20,8 \pm 6,9$; в подгруппе 3-К – $21,7 \pm 7,4$ ($p = 0,9$).

Средний балл по шкале FJS в подгруппе 3-О составил $13,8 \pm 5,2$, в подгруппе 3-К – $16,7 \pm 9,9$ ($p = 0,63$).

Таким образом, у пациентов с применением нового метода аутопластики связки надколенника сухожилиями длинных малоберцовых мышц во время рТЭКС отмечен меньший риск возникновения или рецидива глубокой перипротезной инфекции коленного сустава, меньший дефицит активного разгибания, лучшие результаты по шкалам ВАШ, WOMAC и FJS–12, и практически одинаковый результат по шкале OKS по сравнению с пациентами, у которых применялись другие методы пластики надколенника (аллопластика трансплантатом с костными блоками, аутопластика сухожилиями полусухожильной и тонкой мышц, и пластика

синтетическими материалами). Статистическая значимость этого сравнительного анализа ограничена ввиду малого количества наблюдений.

Одной из важнейших задач ревизионного эндопротезирования коленного сустава является замещение костных дефектов. Мы проанализировали возможности и результаты применения 3D печати для восполнения дефектов при рТЭКС.

Для реализации технологии 3D печати пациенту вначале выполняли качественную компьютерную томографию обеих нижних конечностей на многосрезовом спиральном компьютерном томографе Toshiba Aquilion One 640 с шагом 0,5 мм. Изображения обрабатывали в режиме подавления артефактов от металла SEMAR. В процессе нашей работы мы сотрудничаем с двумя компаниями, занимающимися обработкой изображений, планированием и 3D печатью, находящимися в г. Москве: ООО «ТИОС» и «ИТК Эндопринт». Записанные изображения в формате DICOM с помощью электронной почты передавали специалистам компаний. Инженеры выполняли окончательную обработку компьютерных томограмм, и на их основании создавали 3D модели костей нижних конечностей высокого разрешения (Рисунок 8).

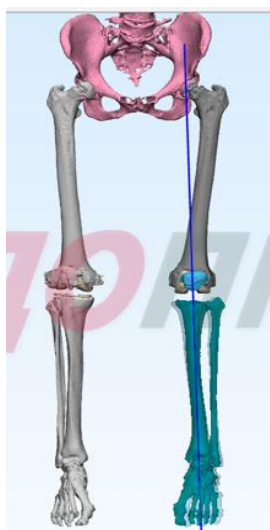


Рисунок 8 – 3D модель нижних конечностей

Инженер присылал ответ в файлах в форматах .png и .pdf. На .pdf изображениях в 3D режиме возможно поворачивать изображения в любой плоскости и точно оценить все имеющиеся дефекты. Также по согласованию с хирургом инженер отмечал участки кости, подлежащие резекции под 3D имплант (если резекции были необходимы для правильного его расположения). Планировали необходимое расположение серийного импланта в 3-х плоскостях и определяли имеющийся дефицит кости, подлежащий заполнению 3D имплантом. Далее планировали индивидуальный компонент для заполнения костного дефекта. Поверхность компонента, контактирующая с костью, имела пористую структуру для остеоинтеграции. Поверхность импланта, контактирующая с мягкими тканями, для предотвращения их

повреждения имела гладкую структуру. Для контакта индивидуального и серийного импланта предусматривался зазор для цементной мантрии, поскольку для их соединения необходим костный цемент. После согласования с инженером изделие отправляли на печать, которую осуществляли на сертифицированном 3D принтере из порошкового металлического сплава Rematitan (Ti90Al6V4), разрешенного к применению в медицине. Вместе с имплантом на другом принтере выполняли печать пластикового примерочного компонента. Компоненты курьером доставляли в клинику (Рисунок 9).

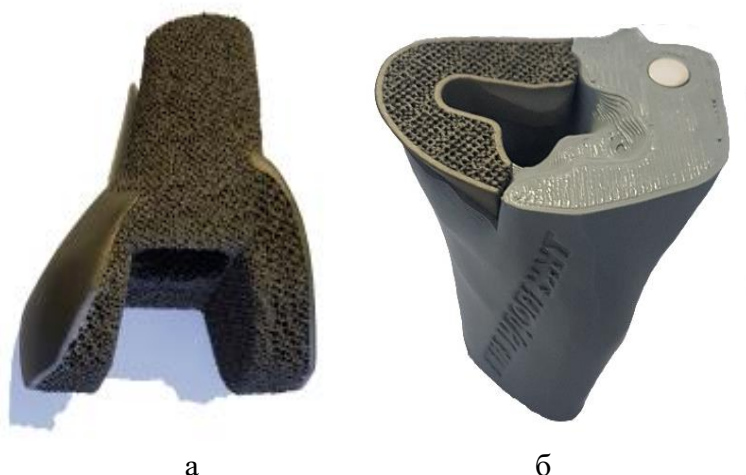


Рисунок 9 – Готовые изделия: А - титановый компонент для замещения проксимального отдела бедренной кости; Б - индивидуальный титановый аугмент для замещения дефекта большеберцовой кости

Пациенты, которым выполняли 3D печать для замещения костных дефектов (21 пациент), были выделены в основную подгруппу (4-О). В качестве контрольной подгруппы (4-К) случайным образом были отобраны 21 пациент, которым до ноября 2017 года выполнили пластику костных дефектов аугментами ревизионной системы NexGen LССК или с использованием конусов из трабекулярного металла компании Zimmer-Biomet. Вместе они составили 4-ю дополнительную группу. Обе подгруппы были сопоставимы и не имели статистически значимых отличий по полу и возрасту.

Средний срок наблюдения за пациентами 4-й дополнительной группы составил $35 \pm 9,5$ месяцев (минимум 24 месяца): в подгруппе 4-О - $31,2 \pm 7,7$ месяцев (минимум 24 месяца), в подгруппе 4-К – $38,7 \pm 9,8$ месяцев (минимум 32 месяца). Анализ амплитуды движений в коленных суставах в подгруппах до и после операции не выявил статистически значимых отличий.

Уровень боли по ВАШ после операции снизился по сравнению с начальным уровнем в подгруппе 4-О в 5,3 раза, а в подгруппе 4-К в 11,0 раз, перейдя из оценочного диапазона «сильная

боль» в диапазон «слабая боль». Разница средних показателей между подгруппами составила 0,9 балла ($p = 0,08$).

Средние показатели по шкале WOMAC в подгруппе 4-О улучшились по сравнению с начальным уровнем в 5,1 раза, а в подгруппе 4-К в 5,9 раза. Разница средних показателей после операции между подгруппами составила 1,6 балла, что является статистически не значимым отличием ($p=0,7$).

Средние показатели по шкале OKS в подгруппе 4-О улучшились по сравнению с начальным уровнем в 2,4 раза, а в подгруппе 4-К – также в 2,4 раза. Разница средних показателей после операции между подгруппами составила 0,2 балла, что является статистически не значимым отличием ($p = 0,8$).

Средние показатели по шкале FJS-12 в подгруппе 4-О улучшились по сравнению с начальным уровнем в 3,2 раза, а в подгруппе 4-К в 5,8 раза. Разница средних показателей после операции между подгруппами составила 5,6 балла ($p = 0,09$).

Таким образом, результаты лечения пациентов в подгруппах 4-О и 4-К можно считать сопоставимыми.

Среди осложнений, потребовавших повторного вмешательства на оперированном коленном суставе у пациентов 4-й дополнительной группы, в указанные сроки наблюдения была отмечена только перипротезная инфекция – 1 случай в подгруппе 4-О и 2 случая в подгруппе 4-К. Ввиду малого количества этих случаев разница не является статистически значимой (критерий хи-квадрат Пирсона, $p = 0,8$).

Мы не отметили статистически значимой разницы по шкалам ВАШ, WOMAC, OKS и FJS-12, в отношении послеоперационного объема движений и частоте осложнений между пациентами с индивидуально напечатанными 3D имплантатами для компенсации костных дефектов бедренной и (или) большеберцовой кости и пациентами, у которых применялись стандартные ревизионные конструкции при рТЭКС в средний срок наблюдения $35 \pm 9,5$ месяцев (минимум 24 месяца). Применение индивидуально напечатанных титановых изделий оказалось безопасным для пациентов, и эту технологию можно рассматривать как один из эффективных методов компенсации костных дефектов при рТЭКС (Рисунки 10, 11 и 12).



Рисунок 10 – Топограмма и компьютерные томограммы пациентки подгруппы 4-О перед операцией



Рисунок 11 – Рентгенограммы и топограмма пациентки подгруппы 4-О после ревизионного эндопротезирования коленного сустава с применением индивидуально напечатанного титанового импланта дистального отдела бедренной кости



Рисунок 12 – Пациентка подгруппы 4-О через 36 месяцев после ревизионного эндопротезирования коленного сустава

Перипротезная инфекция (ППИ) является самым неприятным и трудно поддающимся лечению осложнением эндопротезирования коленного сустава. Хирургическое лечение пациентов с хронической ППИ коленного сустава проводят в 2 этапа. На первом этапе удаляют импланты и проводят санацию очага с установкой спейсера. На втором этапе устанавливают ревизионный эндопротез. До сих пор нет единого мнения о том, какой интервал следует соблюдать между этими этапами. Сокращение протяженности этого интервала повышает риск рецидива инфекции, а удлинение – инвалидизирует пациента и способствует прогрессированию нежелательных изменений в тканях, что впоследствии может существенно осложнить выполнение второго этапа операции.

В связи с этим мы поставили задачу определить оптимальный интервал между этапами таких операций.

Во 2-ю группу наблюдения вошли 144 пациента, причиной ревизионного вмешательства у которых было именно инфекционное осложнение ТЭКС. В эту группу мы включили только тех пациентов, которым обе операции были выполнены в нашей клинике.

С сентября 2019 года мы начали применять короткие интервалы в лечении ППИ коленного сустава (2–3 недели) в соответствии с рекомендациями Pro-Implant Foundation [35], выполняя оба вмешательства в течение одного срока пребывания пациента в стационаре. Эти 67 клинических случаев составили основную подгруппу (2-О). В контрольную подгруппу (2-К) вошли 77 пациентов, у которых интервалы в лечении ППИ коленного сустава составляли большой срок и не были регламентированы.

В 57 случаях (39,6 %) возбудителями ППИ были стафилококки, из них у 26 пациентов – метициллин-резистентные. На втором месте по частоте встречались кишечные бактерии у 27 пациентов (18,8 %). В 5 случаях (3,5 %) выявлено сразу несколько возбудителей ППИ. У 31 пациента (21,5 %) возбудитель ППИ в предоперационном периоде выявлен не был.

Оба этапа рТЭКС выполняли в разных операционных на разных этажах: первый этап в операционной экстренной хирургии, второй этап в плановых операционных травматолого-ортопедического отделения.

Задачи первого этапа рТЭКС при ППИ заключались в удалении всех компонентов эндопротеза, в том числе стабильно фиксированных, иссечении всех патологически измененных тканей, тщательном промывании раны и костномозговых каналов и установке спейсера.

В ходе первого этапа операции мы брали несколько образцов для микробиологического исследования: синовиальную жидкость коленного сустава, несколько (от одного до трёх) фрагментов синовиальной оболочки сустава, образцы костной ткани (или мембраны) после удаления бедренного и большеберцового компонентов эндопротеза. Это позволило нам

подтвердить или уточнить возбудителя ППИ, в том числе – в 12 случаях, когда не удалось это сделать в предоперационном периоде.

После промывания раны устанавливали спейсер, состоящий из цемента с антибиотиком и бедренного компонента эндопротеза. Цементную большеберцовую часть спейсера отливали в предварительно изготовленных силиконовых формах разного размера и пластиковых поршней.

В качестве бедренного компонента спейсера использовали бедренные компоненты эндопротеза. Костные дефекты под спейсером заполняли костным цементом с антибиотиком, но так, чтобы он не очень прочно фиксировался к кости – либо уже в нерабочей фазе цемента во время полимеризации, либо прокладывая между цементом и костью стерильную полиэтиленовую пленку от упаковки цемента и удаляя ее после полимеризации (Рисунок 13).



Рисунок 13 – Артикулирующий спейсер коленного сустава в ране
Обращает на себя внимание толщина большеберцового компонента, позволяющая сбалансировать коленный сустав в условиях дефицита кости и связочного аппарата

После установки спейсера рану послойно ушивали наглухо с оставлением дренажа. Дренаж удаляли в течение 24 часов после операции, после чего разрешали движения в коленном суставе и ходьбу на костылях

Подходы ко второму этапу рТЭКС зависели от того, какой интервал мы использовали. При коротком интервале второй этап выполняли через 14 – 21 дней на фоне продолжающейся внутривенной антибиотикотерапии при условии первичного заживления раны и отсутствия локальных и общих воспалительных изменений. В таких случаях пациент в течение всего интервала между этапами находился в стационаре под наблюдением, и повторная госпитализация не требовалась. При длинном интервале перед вторым этапом пациента обследовали на предмет рецидива ППИ (анализы крови, обязательное цитологическое и микробиологическое исследование пунктата).

После второго этапа рТЭКС пациенты обеих групп в течение 2 недель получали внутривенную антибиотикотерапию в стационаре с переводом на таблетированные препараты в течение 8 недель после выписки.

Средний срок оценки результатов пациентов после второго этапа рТЭКС в подгруппе 2-О составил $25,7 \pm 7,2$ месяца (минимум 14 месяцев), а в подгруппе 2-К – $37,7 \pm 11,1$ месяцев (минимум 24 месяца), то есть в 1,5 раза дольше ($p < 0,01$).

При анализе предоперационной амплитуды движений у пациентов с ППИ обращает на себя внимание тенденция к формированию сгибательной контрактуры. Получена статистически значимая разница в отношении объема сгибания после операции у пациентов подгруппы 2-О достигнут больший угол сгибания после двухэтапного рТЭКС (Таблица 3).

Таблица 3 – Амплитуда движений у пациентов 2-й группы (в град.)

	до начала лечения		после завершения второго этапа рТЭКС		
	подгруппа 2-О	подгруппа 2-К	подгруппа 2-О	подгруппа 2-К	P
разгибание	$4,92 \pm 6$	6 ± 6	$0,7 \pm 1,7$	1 ± 3	0,5
сгибание	$62,7 \pm 24,6$	$64,8 \pm 24,8$	$98,4 \pm 16$	$89,7 \pm 18,7$	$< 0,01$

Мы провели анализ результатов лечения по шкалам ВАШ, WOMAC, OKS и FJS-12.

Уровень боли по ВАШ после второго этапа операции снизился по сравнению с начальным уровнем в подгруппе 2-О в 8,0 раза, а в подгруппе 2-К в 5,4 раза, перейдя из оценочного диапазона «сильная боль» в диапазон «слабая боль» ($p = 0,04$).

Средние показатели по шкале WOMAC в подгруппе 2-О улучшились по сравнению с начальным уровнем в 3,8 раза, а в подгруппе 2-К в 3,0 раза. Разница средних показателей после операции между подгруппами составила 5,1 балла, что является статистически значимым отличием ($p < 0,03$).

Средние показатели по шкале OKS в подгруппе 2-О улучшились по сравнению с начальным уровнем в 2,2 раза, а в подгруппе 2-К в 1,9 раза. Разница средних показателей после операции между подгруппами составила 4,3 балла, что является статистически значимым отличием ($p < 0,01$).

Средние показатели по шкале FJS-12 в подгруппе 2-О улучшились по сравнению с начальным уровнем в 3,1 раза, а в подгруппе 2-К в 2,4 раза. Разница средних показателей после операции между подгруппами составила 0,3 балла ($p = 0,03$).

Таким образом, при лечении пациентов с перипротезной инфекцией применение коротких интервалов (в среднем $16,3 \pm 2,5$ дней) между этапами двухэтапного ревизионного эндопротезирования коленного сустава по сравнению с длинными интервалами (в среднем $161 \pm 70,4$ дней) показало статистически значимые лучшие результаты по шкалам ВАШ, WOMAC, OKS и FJS-12 через минимум 14 месяцев после второго этапа рТЭКС (Рисунки 14, 15, 16 и 17).



Рисунок 14 – Рентгенограмма пациента 2-й группы перед операцией

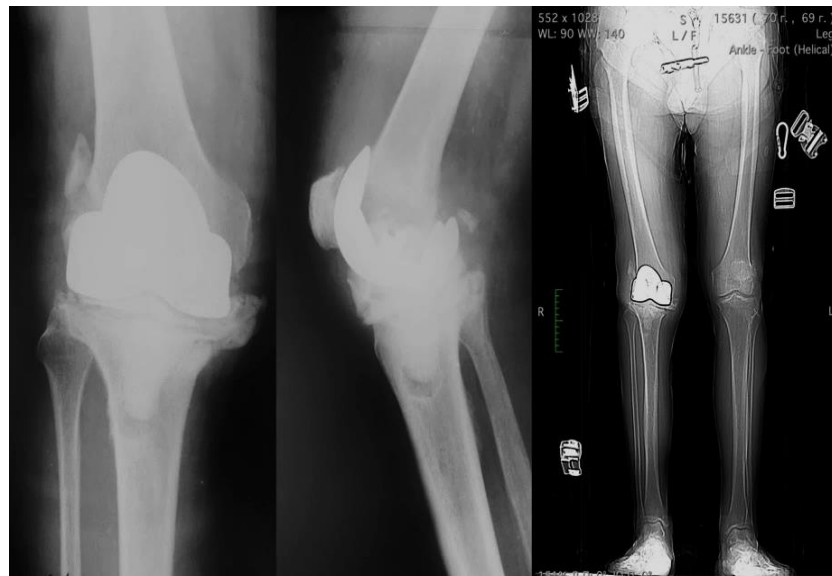


Рисунок 15 – Рентгенограммы и топограмма пациента 2-й группы после первого этапа двухэтапного рТЭКС

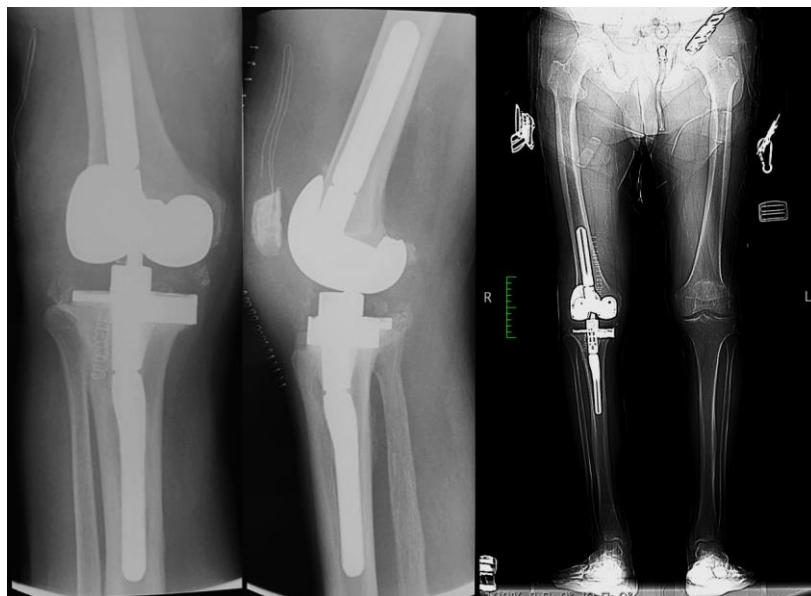


Рисунок 16 – Рентгенограммы и топограмма пациента 2-й группы после второго этапа двухэтапного рТЭКС



Рисунок 17 – Пациент 2-й группы через 26 месяцев после двухэтапного рТЭКС

Среди осложнений у пациентов 2-го основного лечебного этапа, потребовавших ревизионного вмешательства на коленном суставе, отмечены только 16 рецидивов глубокой

перипротезной инфекции (11,1 %), которые отмечены у пациентов подгруппы 2-О в 10,4 % случаев, а у пациентов подгруппы 2-К – в 11,6 %.

Таким образом, констатирована практически одинаковая частота рецидивов ППИ при применении как коротких интервалов между этапами рТЭКС (подгруппа 2-О), так и более продолжительных (подгруппа 2-К).

У 3 пациентов из 16 (18,8 %) рецидив ППИ развился в течение 4 недель после второго этапа рТЭКС. В этих случаях провели санацию коленного сустава с заменой полиэтиленового вкладыша. У одного из этих пациентов в последующем развился повторный рецидив ППИ, что потребовало удаления всех компонентов эндопротеза с установкой артикулирующего спейсера.

У остальных 13 пациентов (81,3 %) рецидивы ППИ были отмечены в более поздние периоды. Из них в 7 случаях повторно проведено два этапа рТЭКС. У трех этих пациентов вновь отмечены рецидивы ППИ, в связи с чем им был выполнен артродез коленного сустава индивидуальными имплантатами, созданными с помощью 3D печати; эти пациенты составили дополнительную группу наблюдения № 5. У 6 пациентов с поздним рецидивом ППИ второй этап рТЭКС к настоящему моменту еще не выполнен.

В результате мы можем отметить неблагоприятные результаты лечения рецидивов перипротезной инфекции коленного сустава после двухэтапного ревизионного эндопротезирования коленного сустава. Только у 6 пациентов (37,5 %) удалось достичь установки ревизионного эндопротеза коленного сустава без повторных рецидивов ППИ. У 10 пациентов (62,5 %) развились повторные рецидивы ППИ. 3 пациентам (30 %) среди них выполнен артродез коленного сустава, 7 пациентам (70 %) второй этап рТЭКС не выполнен.

Заведомо неблагоприятный прогноз установки нового ревизионного протеза у 3 пациентов с рецидивирующей ППИ и ранее предпринятыми многократными ревизионными вмешательствами на коленном суставе обусловил необходимость артродезирования коленного сустава, что преследовало цель как борьбы с ППИ, так и восстановления опороспособности конечности.

Значительный дефицит костной массы в таких случаях не позволял соединить бедренную и большеберцовую кость между собой, что потребовало применения специальных конструкций. Мы фиксировали нижнюю конечность в функционально выгодном положении, убирая возможность движений в коленном суставе, но сохраняя опороспособность. Для этого планировали и распечатывали на 3D принтере из порошкового металлического сплава Rematitan бедренный и большеберцовый компоненты, устанавливали их в каналы бедренной и большеберцовой кости на костном цементе и соединяли между собой с помощью трех винтов (Рисунок 18).

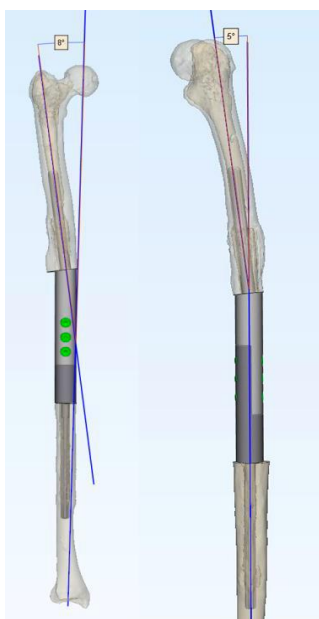


Рисунок 18 – Артродез коленного сустава при рецидивирующей ППИ с помощью индивидуальных конструкций (схема)

Все пациенты были пожилого возраста. Им неоднократно (от 4 до 15 раз) предпринимались попытки выполнения ревизионного эндопротезирования, которые постоянно заканчивались неудачей на фоне рецидивов ППИ. После выполнения артродезирования коленного сустава по нашей методике ни у одного пациента не отмечено рецидивов ППИ, однако в одном случае через 18 месяцев констатировано расшатывание компонентов эндопротеза. В двух остальных случаях операции артродезирования привели к желаемому результату, восстановив опорность конечности.

Нами была оптимизирована система лечения пациентов с неудовлетворительными результатами эндопротезирования коленного сустава, для чего разработаны и обоснованы пути повышения эффективности выполняемых операций ревизионного эндопротезирования в отношении пациентов как с перипротезной инфекцией (2-я группа наблюдения), так и без ее развития (1-я группа наблюдения).

Общее число пациентов, вошедших в данное исследование, составило 427 человек, из которых у 219 применили по соответствующим показаниям разработанные нами методики лечения. Эти пациенты вошли в подгруппы, названные основными (1-О – 152 человека и 2-О – 67 человек). Пациенты, которым проводили лечение традиционными способами (208 наблюдений), вошли в контрольные подгруппы (1-К – 131 человек и 2-К – 77 человек).

Контроль и оценку результатов проводили по шкалам-опросникам ВАШ, WOMAC, OKS и FJS-12.

В основных подгруппах удалось снизить болевой синдром в 7,1 раза, а в контрольных – в 5,7 раза. В обеих проанализированных когортах среднее значение боли перешло из оценочного

диапазона «сильная боль» в диапазон «слабая боль», разница составила 0,3 балла по ВАШ в пользу основных подгрупп.

По шкале WOMAC в основных подгруппах достигнуто улучшение средних показателей в 4,4 раза, а в контрольных – в 3,4 раза. Итоговая разница средних показателей составила 4,7 балла в пользу основных подгрупп, что является статистически значимым отличием ($p < 0,05$).

По шкале OKS в основных подгруппах достигнуто улучшение средних показателей в 2,2 раза, а в контрольных – в 1,8 раза. Итоговая разница средних показателей составила 4,3 балла в пользу основных подгрупп, что является статистически значимым отличием ($p < 0,05$).

По шкале FJS-12 в основных подгруппах достигнуто улучшение средних показателей в 3,3 раза, а в контрольных – в 2,6 раза. Итоговая разница средних показателей составила 3,4 балла в пользу основных подгрупп, что является статистически значимым отличием ($p < 0,05$).

Таким образом, оптимизация системы лечения пациентов, нуждающихся в ревизионном эндопротезировании коленного сустава, позволила получить статистически значимое улучшение результатов по шкалам оценки функции коленного сустава, что позволяет рекомендовать разработанные подходы в клиническую практику.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика динамической мультиспиральной компьютерной томографии коленного сустава позволила в сомнительных случаях верифицировать расшатывание компонентов эндопротеза, определив показания к ревизионному эндопротезированию у 16,7% пациентов.

2. Применение разработанных методик и инструментов для регулируемого восстановления уровня суставной щели, сгибательного промежутка и ротации бедренного компонента при рТЭКС позволило в сравнении с традиционными подходами добиться статистически значимого улучшения амплитуды сгибания на $4,2^\circ$, а также средних показателей шкал WOMAC на 4,0 балла, OKS на 4,3 балла и FJS-12 на 3,2 балла.

3. Применение разработанного способа аутопластики связки надколенника при ревизионном эндопротезировании коленного сустава позволило по сравнению с традиционными методиками в 3 раза снизить число инфекционных осложнений и в 3,8 раза снизить дефицит активного разгибания голени.

4. Использование индивидуально изготовленных с помощью 3D-печати компонентов для замещения костных дефектов при ревизионном эндопротезировании коленного сустава не уступает в эффективности и безопасности стандартным ревизионным конструкциям, однако незаменимо при обширных костных дефектах.

5. Применение сокращенного интервала между операциями при двухэтапном ревизионном эндопротезировании коленного сустава на фоне глубокой перипротезной инфекции не привело к росту осложнений, однако позволило сократить среднюю продолжительность лечения в 9,9 раза, выполнив оба этапа в течение одного срока госпитализации, а также оказалось более эффективным в отношении улучшения объема движений и результатов по шкалам ВАШ, WOMAC, OKS и FJS-12.

6. Применение индивидуально изготовленных имплантов для артродезирования коленного сустава у пациентов с рецидивирующей перипротезной инфекцией позволило во всех случаях избежать новых рецидивов инфекции и в 66,7% наблюдений восстановить опороспособность конечности.

7. Разработанные предложения по оптимизации системы лечения пациентов, нуждающихся в ревизионном эндопротезировании коленного сустава, позволили улучшить функциональные результаты в среднем на 4,7 балла по шкале WOMAC, на 4,3 балла по OKS и на 3,4 балла по FJS-12.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Динамическая компьютерная томография может быть рассмотрена как один из эффективных методов диагностики расшатывания компонентов эндопротеза коленного сустава. В случае болевого синдрома после ТЭКС, отсутствия подтверждений перипротезной инфекции, явного расшатывания и мальпозиции компонентов эндопротеза на рентгенограммах и компьютерной томографии этот метод может быть полезен для уточнения показаний к ревизионной операции.

2. Недостаток костных и мягкотканых ориентиров, ограничение применения навигационных технологий и невозможность применения роботических технологий при рТЭКС делает сложным правильное позиционирование компонентов ревизионного эндопротеза. Применение методов и инструментов для восстановления уровня суставной щели и сгибательного промежутка коленного сустава по здоровой стороне, а также ротации бедренного компонента по межнадмыщелковой линии может облегчить эту задачу, улучшить точность расположения компонентов эндопротеза, а, следовательно, и результаты ревизионной операции.

3. При двухэтапном ревизионном эндопротезировании коленного сустава по поводу перипротезной инфекции нецелесообразно использовать продолжительные интервалы между этапами. Сокращение интервала между этапами до 14–21 суток не влияет на частоту рецидива перипротезной инфекции, однако улучшает функциональный результат, существенно сокращает

общий срок лечения пациента и позволяет осуществить оба этапа операции без выписки пациента из стационара.

4. Применение сухожилий двух длинных малоберцовых мышц в качестве аутотрансплантата для пластики связки надколенника при рТЭКС можно рекомендовать в качестве методики, альтернативной традиционным, так как она обеспечивает достаточную прочность фиксации, хороший объем активного разгибания и не увеличивает частоту возникновения или рецидива перипротезной инфекции. Забор пластического материала не представляет технических трудностей и не нарушает функцию стоп и голеностопных суставов.

5. Использование индивидуальных аугментов и конусов, напечатанных на 3D-принтере из сплава Рематитан для пластики костных дефектов при рТЭКС, может быть использовано наряду со стандартными конструкциями, не уступая им в отношении результатов проведенного лечения. В то же время, при обширных костных дефектах такая технология имеет несомненное преимущество в качестве альтернативы дорогостоящим онкологическим конструкциям.

6. При рецидивах перипротезной инфекции многократные повторные попытки ревизионных операций значительно повышают вероятность неблагоприятного результата, что определяет показания к артродезированию коленного сустава. Однако после множественных операций дефицит бедренной и большеберцовой костей не позволяет соединить их между собой для достижения анкилоза. Создание индивидуальных титановых конструкций позволяет заместить протяженные костные дефекты и обеспечить опороспособность нижней конечности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Рукин Я.А.** Оценка ближайших результатов тотального эндопротезирования коленного сустава с применением компьютерной навигации / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, П. М. Елизаров, А. Г. Жучков, Я. А. Рукин, Д. И. Терентьев // **Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.** – 2009. – № 1. – С. 29-33.
2. **Рукин Я.А.** Тотальное эндопротезирование коленного сустава с использованием компьютерной навигации при тяжелых деформациях конечности / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, П. М. Елизаров, А. Г. Жучков, Л. А. Якимов, Я. А. Рукин// **Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.** – 2010. – № 2. – С. 34-40.
3. **Рукин Я.А.** Рентгенологическая оценка стабильности эндопротезов тазобедренного и коленного суставов / Г. Кавалерский, В. Мурылев, П. Елизаров, Я. Рукин // **Врач.** – 2010. – № 11. – С. 57-60.

4. **Рукин Я.А.** Компьютерная навигация при тотальном эндопротезировании тяжелых деформаций коленного сустава / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, В. С. Трухачев, Я. А. Рукин, Д. И. Терентьев, А. Г. Жучков, П. М. Елизаров // **Московский хирургический журнал**. – 2011. – № 3(19). – С. 8-12.
5. **Рукин Я.А.** Применение эноксапарина и дабигатрана для профилактики тромбозов после тотального эндопротезирования коленного сустава / В. Ю. Мурылев, Я. А. Рукин, П. М. Елизаров [и др.] // **Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова**. – 2012. – № 2. – С. 61-64.
6. **Рукин Я.А.** Возможности компьютерной навигации при первичном тотальном эндопротезировании коленного сустава / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, Я. А. Рукин [и др.] // **Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова**. – 2012. – № 4. – С. 27-31.
7. **Рукин Я.А.** Эндопротезирование коленного сустава при его массивных деструкциях у ортопедических больных / В. Мурылев, М. Холодаев, П. Елизаров, Я. Рукин, Г. Казарян // **Врач**. – 2012. – № 2. – С. 74.
8. **Рукин Я.А.** Тотальное эндопротезирование коленного сустава с использованием компьютерной навигации / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, Я. А. Рукин [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2012. – № 2. – С. 8-11.
9. **Рукин Я.А.** Применение спейсеров для лечения глубокой перипротезной инфекции тазобедренного и коленного суставов / В. Ю. Мурылев, М. Ю. Холодаев, Я. А. Рукин [и др.] // **Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова**. – 2013. – № 3. – С. 18-24.
10. **Рукин Я.А.** Нарушения разгибательного аппарата после первичного и ревизионного эндопротезирования коленного сустава / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, М. Ю. Холодаев [и др.] // **Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова**. – 2014. – № 4. – С. 31-37.
11. **Рукин Я.А.** Диагностика перипротезной инфекции. Часть 1: серология / А. П. Середа, Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, Я. А. Рукин // **Травматология и ортопедия России**. – 2014. – № 4(74). – С. 115-126.
12. **Рукин Я.А.** Опыт применения в травматологии онкопротезов коленного сустава при обширных околоуставных костных дефектах / В. Мурылев, М. Холодаев, П. Елизаров, Я. Рукин, Г. Рубин, А. Музыченков // **Врач**. – 2015. – № 1. – С. 64-68.
13. **Рукин Я.А.** Тотальное эндопротезирование коленного сустава при посттравматических деформациях нижних конечностей / В. Мурылев, А. Музыченков, А. Жучков, Я. Рукин, Г. Рубин, А. Лычагин // **Врач**. – 2015. – № 11. – С. 4-7.
14. **Рукин Я.А.** Применение транексамовой кислоты при первичном эндопротезировании коленного сустава / Г. Кавалерский, В. Мурылев, А. Музыченков, А. Жучков, Я. Рукин, Г. Рубин, А. Соколов // **Врач**. – 2015. – № 7. – С. 72-75.

15. **Рукин Я.А.** Применение компьютерной навигации для тотального эндопротезирования коленного сустава у пациентов с грубыми деформациями механической оси нижней конечности / Г. М. Кавалерский, В. Ю. Мурылев, Я. А. Рукин [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2015. – № 3. – С. 8-13.
16. **Рукин Я.А.** Изменения субхондральной кости при гонартрозе / В. Мурылев, Г. Сорокина, Э. Курилина, Я. Рукин // Врач. – 2016. – № 10. – С. 26-29.
17. **Рукин Я.А.** Влияние типа эндопротеза на биомеханику коленного сустава / Г. Кавалерский, С. Сметанин, А. Лычагин, Я. Рукин, А. Грицюк // **Врач.** – 2017. – № 5. – С. 48-50.
18. **Рукин Я.А.** Роль многосрезовой компьютерной томографии при первичном эндопротезировании коленного сустава / Г. М. Кавалерский, Н. С. Серова, С. М. Сметанин, А. В. Лычагин, Я. А. Рукин // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2018. – Т. 99, № 1. – С. 43-46.
19. **Рукин Я.А.** Тотальная цементная артропластика коленного сустава у пациентов 85–95-летнего возраста, страдающих терминальной стадией дегенеративных повреждений коленного сустава / В. Ю. Мурылев, П. М. Елизаров, А. В. Музыченков, Я. А. Рукин, А. А. Деринг, Г. А. Куковенко, Алексеев С. С., Рубин Г. Г. // **Вестник хирургии им. И.И. Грекова.** – 2018. – Т. 177, № 6. – С. 49-53. [Scopus]
20. **Рукин Я.А.** Тотальное эндопротезирование тазобедренных и коленных суставов у пациентов с хронической болезнью почек (обзор литературы) / В. Ю. Мурылев, Н. А. Цыгин, Е. В. Шутов, А. Г. Жучков, Я. А. Рукин // **Травматология и ортопедия России.** – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 138-145.
21. **Рукин Я.А.** Тотальное эндопротезирование коленного сустава у пациентов старческого возраста и долгожителей / В. Ю. Мурылев, П. М. Елизаров, А. В. Музыченков, Я. А. Рукин, А. А. Деринг, Г. А. Куковенко, Г. Г. Рубин // Успехи геронтологии. – 2018. – Т. 31, № 3. – С. 416-422. [Scopus]
22. **Рукин Я.А.** Сравнительная характеристика реологических свойств внутрисуставных протезов на основе гиалуроновой кислоты / Г. М. Кавалерский, М. Г. Кавалерский, Ю. Л. Дугина, Я. А. Рукин // **Кафедра травматологии и ортопедии.** – 2018. – № 1(31). – С. 18-22.
23. **Рукин Я.А.** Местная инфильтрационная анестезия при тотальном эндопротезировании коленного сустава / Д. А. Тарасов, А. В. Лычагин, В. А. Кожевников [и др.] // **Кафедра травматологии и ортопедии.** – 2018. – № 2(32). – С. 74-79.
24. **Рукин Я.А.** Функциональная компьютерная томография для диагностики расшатывания эндопротеза коленного сустава / А. В. Лычагин, Я. А. Рукин, Г. Г. Захаров [и др.] // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2018. – Т. 8, № 4. – С. 134-142. [Scopus]

25. **Rukin, Y.** Three-dimensional models in planning of revision hip arthroplasty with complex acetabular defects / G. Kavalerskiy, V. Murylev, Y. Rukin [et al.] // *Indian Journal of Orthopaedics*. – 2018. – Vol. 52, No. 6. – P. 625-630. [Scopus]
26. **Рукин Я.А.** Эндопротезирование крупных суставов у больных, получающих лечение программным диализом. Результаты лечения в одном центре и обзор литературы / В. Ю. Мурылев, Н. А. Цыгин, Е. В. Шутов, Я. А. Рукин, Г. Л. Сорокина, Э. В. Курилина, А. В. Музыченко // *Нефрология и диализ*. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 221-233. [Scopus]
27. **Рукин Я.А.** Послеоперационное обезболивание при тотальном эндопротезировании коленного сустава: сравнительный анализ эффективности современных методик / Д. А. Тарасов, А. В. Лычагин, Я. А. Рукин [и др.] // *Травматология и ортопедия России*. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 31-41.
28. **Рукин Я.А.** Первый опыт роботизированного эндопротезирования коленного сустава / А. В. Лычагин, Я. А. Рукин, А. А. Грицук, М. П. Елизаров // *Кафедра травматологии и ортопедии*. – 2019. – № 4(38). – С. 27-33.
29. **Рукин Я.А.** История развития робототехники в хирургии и ортопедии (Обзор литературы) / А. В. Лычагин, А. А. Грицук, Я. А. Рукин, М. П. Елизаров // *Кафедра травматологии и ортопедии*. – 2020. – № 1(39). – С. 13-19.
30. **Рукин Я.А.** Определение уровня суставной щели коленного сустава: обсервационное исследование / А. В. Лычагин, Г. М. Кавалерский, Я. А. Рукин [и др.] // *Кафедра травматологии и ортопедии*. – 2021. – № 4(46). – С. 41-50.
31. **Патент на полезную модель № 217000**, Российская Федерация, МПК А61В 1/00, А61В 5/103, А61F 2/46. Устройство для определения положения суставной щели при ревизионном эндопротезировании коленного сустава / **Я. А. Рукин**, А. В. Лычагин, Г. М. Кавалерский, А. А. Грицук, В. Ю. Мурылев, И. А. Вязанкин; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) – 2022119436, заявл. 15.07.2022, опубл. 14.03.2023, Бюл. № 8
32. **Рукин Я.А.** Определение величины сгибательного промежутка при первичном эндопротезировании коленного сустава / Ч. Пан, А. В. Лычагин, Я. А. Рукин, А. А. Грицук // *Кафедра травматологии и ортопедии*. – 2022. – № 2(48). – С. 69-77.
33. **Рукин Я.А.** Рандомизированное исследование: влияние уровня сгибательной щели при первичном эндопротезировании на функцию коленного сустава / Ч. Пан, А. В. Лычагин, Я. А. Рукин, А. А. Грицук // *Кафедра травматологии и ортопедии*. – 2022. – № 3(49). – С. 47-55.

34. **Патент на изобретение № 2791888**, Российская Федерация, МПК А61В 17/00, А61В 17/56. Способ аутопластики связки надколенника /А. В. Лычагин, **Я. А. Рукин**, В. Ю. Мурылев, И. А. Вязанкин, Г. А. Куковенко; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) – 2022108298, заявл. 29.03.2022, **опубл. 14.03.2023, Бюл. № 8**
35. **Патент на изобретение № 2800022**, Российская Федерация, МПК А61В 17/56. Способ ревизионного эндопротезирования коленного сустава / **Я. А. Рукин**, А. В. Лычагин, Г. М. Кавалерский, А. А. Грицюк, В. Ю. Мурылев, И. А. Вязанкин; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) – 2022119437, заявл. 15.07.2022, **опубл. 14.07.2023, Бюл. № 20**
36. **Патент на изобретение № 2800021**, Российская Федерация, МПК А61В 17/56. Способ установки ротации бедренного компонента и сгибательного промежутка при первичном и ревизионном эндопротезировании коленного сустава / **Я. А. Рукин**, А. В. Лычагин, Г. М. Кавалерский, А. А. Грицюк, В. Ю. Мурылев, И. А. Вязанкин; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) – 2022118725, заявл. 08.07.2022, **опубл. 14.07.2023, Бюл. № 20**
37. **Патент на полезную модель № 216034**, Российская Федерация, МПК А61В 17/15, А61F 2/38, А61F 2/46. Устройство для установки ротации бедренного компонента и сгибательного промежутка при первичном и ревизионном эндопротезировании коленного сустава / **Я. А. Рукин**, А. В. Лычагин, Г. М. Кавалерский, А. А. Грицюк, В. Ю. Мурылев, И. А. Вязанкин; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) – 2022118727, заявл. 08.07.2022, **опубл. 13.01.2023, Бюл. № 2**

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВАШ	визуально-аналоговая шкала
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
дМСКТ	динамическая мультиспиральная компьютерная томография
ИМТ	индекс массы тела
КТ	компьютерная томография
КЭТН	комбинированный эндотрахеальный наркоз
ЛФК	лечебно-физическая культура
МСКТ	мультиспиральная компьютерная томография
ОЭКС	одномышелковое эндопротезирование коленного сустава
ПМН	полиморфно-ядерные нейтрофилы
ППИ	перипротезная инфекция
рТЭКС	ревизионное тотальное эндопротезирование коленного сустава
РФ	Российская Федерация
СМА	спинномозговая анестезия
Соавт.	соавторы
СОЭ	скорость оседания эритроцитов
СРБ	С-реактивный белок
США	Соединенные Штаты Америки
ТЭКС	тотальное эндопротезирование коленного сустава
УЗДГ	ультразвуковая доплерография
3D	3-dimensional
AORI	Anderson Orthopaedic Research Institute
COVID–19	Coronavirus disease 2019
CR	Cruciate Retaining
E. coli	Escherichia coli
EPRD	Endoprothesenregister Deutschland
FDA	Food and Drug Administration
FHJL	перпендикуляр от верхушки головки малоберцовой кости до линии, проходящей через самые дистальные точки наружного и внутреннего мышелков бедренной кости
FJS	12 Forgotten Joint Score – 12
HSS	Hospital for Special Surgery

HSS score	Hospital for Special Surgery score
IBPS	The Insall-Burstein posterior-stabilized knee prosthesis
KSS	Knee Society knee Score
LCCK	Legacy Constrained Condylar Knee
LDFA	латеральный дистальный бедренный угол
LEFG	перпендикуляр от наружного надмыщелка бедренной кости до линии проходящей через самые задние точки наружного и внутреннего мыщелков бедренной кости
MEFG	перпендикуляр от внутреннего надмыщелка бедренной кости до линии проходящей через самые задние точки наружного и внутреннего мыщелков бедренной кости
MIP	maximum intensity projection
MPTA	медиальный проксимальный большеберцовый угол
MRSA	Methicillin-resistant Staphylococcus aureus (метициллин-резистентный золотистый стафилококк)
MRSE	Methicillin-resistant Staphylococcus epidermidis (метициллин-резистентный эпидермальный стафилококк)
MSIS	Musculoskeletal Infection Society
MSSA	Meticillin-Sensitive Staphylococcus aureus (метициллин-чувствительный золотистый стафилококк)
MSSE	Methicillin-Sensitive Staphylococcus epidermidis (метициллин-чувствительный эпидермальный стафилококк)
NG	NexGen
NJR	National Joint Registry
OKS	Oxford Knee Score
PCA	Porous-Coated Anatomical
PS	Posterior Stabilized
RHK	rotated hinge knee
SEMAR	single energy metal artifact reduction
TC	Total Condylar Knee
VVC	Varus-Valgus Constrained
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index