

ГОЛОВЁНКИН

Евгений Сергеевич

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ
ПАЦИЕНТОВ С МНОГОВЕРШИННЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ
ДЛИННЫХ КОСТЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

3.1.8. Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Санкт-Петербург

2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор **Соломин Леонид Николаевич**

Официальные оппоненты:

Багиров Акции Беюкович – доктор медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, ведущий научный сотрудник;

Вавилов Максим Александрович – доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России, Институт педиатрии и репродуктивного здоровья, заместитель директора по научно-исследовательской работе;

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится «16» сентября 2025 года в 15.00 часов на заседании объединённого диссертационного совета 99.0.008.02 в ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России (195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, дом 8).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России и на сайте <http://dissovet.miiito.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 года

Учёный секретарь диссертационного совета 99.0.008.02

доктор медицинских наук



Денисов А.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Коррекция деформаций длинных трубчатых костей является сложной задачей, которая требует корректного анализа деформации и тщательного планирования. Для обеспечения нормальной функции конечности необходимо восстановить не только длину, но ось и ротацию пораженного сегмента в соответствии с референтными линиями и углами (РЛУ) (Paley D., 2009; Solomin L.N., 2012). Большинство деформаций имеют одну вершину. Деформации, имеющие в пределах одного сегмента две и более вершин, называют «многовершинными» (Paley D., 1992, 2009; Fox D. B. et al., 2006; Lesiak A.C. et al., 2012; Fabricant P.D. et al., 2013; Косаоğlu M. et al., 2015; Sharkey M. S. et al., 2015; Schröter. S. at al., 2017; Çakmak M. et al., 2018; Corona P.S. et al., 2018; Hooper J. M. et al., 2018; Xu J. et al., 2018; Mechoor K., 2023; Rozbruch S. R., 2025) или «многоуровневыми» (Tetsworth K. D. et al., 1994; Соломин Л.Н. с соавт., 2017; Виленский В.А. с соавт., 2019; Standard S.C. et al., 2019; Баиндурашвили, А. Г. с соавт., 2020).

Коррекция деформации может быть выполнена одномоментно, т.е. непосредственно в ходе оперативного вмешательства с фиксацией костных фрагментов пластинами, интрамедуллярными стержнями или АВФ (Eralp L. et al., 2004; Song H. R. et al., 2006; Fox D. B. et al., 2006; Gilbody J. et al., 2009; Horn D. M. et al., 2011; Косаоğlu M. et al., 2015; Nicol S. et al., 2015; Schröter. S. at al., 2017; Galal S., 2017; Simon M. H. et al., 2019; Рохоев С.А. с соавт., 2020; Chaudhary M. M. et al., 2019; Oba M. et al., 2022). Одномоментная коррекция деформации и внутренняя фиксация, несомненно, обеспечивает более быстрое возвращение пациента к повседневной жизни и больший комфорт лечения по сравнению с внешней фиксацией и коррекцией деформации во времени (Bilen, F. E. et al., 2010; Eralp, L. et al., 2011; Косаоğlu M. et al., 2011, 2015; Galal S., 2017). Более высокую точность одномоментной коррекции при использовании внутренних металлоконструкций обеспечивает ассистирующая внешняя фиксация (Eralp L. et al., 2004; Rogers M. J. et al., 2007; Bilen F. E. et al., 2010; Eralp L. et al., 2011; Сабиров Ф.К. с соавт., 2014; Косаоğlu M. et al., 2015).

Однако, если деформация сочетается со значимым укорочением конечности, скомпрометированными мягкими тканями, наличием инфекции в анамнезе, окклюзией интрамедуллярного канала, а одномоментная коррекция связана с повышенной опасностью тракционного повреждения сосудов и нервов, использование одномоментной коррекции и внутренней фиксации становится нерациональным, а иногда и просто невозможным (Donnan L. T. et al., 2003;

Feldman, D. S. et al., 2003; Matsubara, H. et al., 2006; Vaidya S. V. et al., 2006; Eralp, L. et al., 2011; Аранович, А. М. с соавт., 2011; Horn D. M. et al., 2011; Chaudhary M. M. et al., 2019). Таким образом, при наличии противопоказаний к одномоментной коррекции и(или) внутренней фиксации, используют дозированную коррекцию по Илизарову, т.е. с применением аппаратов внешней фиксации (Tetsworth K. D. et al., 1994; Tsuchiya H. et al., 2002; Vaidya S.V. et al., 2006; Виленский В.А. с соавт, 2016, 2017, 2018, 2019; Hammouda A. I. et al., 2020; Lu Y. et al., 2022).

Необходимо отметить, что чем сложнее деформация, тем больше перемонтажей аппарата Илизарова (или его аналогов) необходимо выполнить для устранения каждого из компонентов деформации. Это требует значительных навыков и опыта, является длительным и трудоемким процессом (Naqui S. Z. H. et al., 2008; Соломин, Л. Н. с соавт., 2011; Скоморошко П.В., 2014; Koren L. et al., 2016; Соломин Л.Н. с соавт., 2015, 2017; Баиндурашвили, А. Г. с соавт., 2020; Abdelaziz A. M. et al., 2020). Для решения этой проблемы были предложены ортопедические гексаподы, в конструкцию которых включены универсальные коррекционные узлы, позволяющие устранять несколько компонентов деформации одновременно, перемещая фрагменты по «интегральной» траектории, без необходимости перемонтажей аппарата (Seide, K. et al., 2004; Eidelman M., 2006; Naqui S. Z. H. et al., 2008; Elbatrawy Y. et al., 2009; Виленский В.А., 2009; Ganger R. et al., 2010 Faschingbauer M. et al., 2014; Скоморошко П.В., 2014; Brinker M. R. et al., 2015; Соломин Л.Н., 2015; Виленский, В. А. с соавт, 2015; Roy A. et al., 2020; Баиндурашвили, А. Г. с соавт., 2020; Massobrio M. et al., 2021). Многие авторы в своих публикациях подтверждают эффективность гексаподов для коррекции одновершинных деформаций (Feldman, D. S. et al., 2003; Seide, K. et al., 2004; Eidelman M., 2006; Manner H.M. et al., 2007; Elbatrawy Y. et al., 2009; Dammerer D. et al., 2011; Hasler C. C. et al., 2012; Скоморошко П.В., 2014; Solomin L. N. et al., 2014; Соломин Л.Н., 2015; Виленский, В. А. с соавт, 2015; Abdelaziz A. M. et al., 2020; Massobrio M. et al., 2021). В отношении коррекции многовершинных деформаций с использованием ортопедических гексаподов известно две основные методики: одномоментная коррекция с использованием нескольких гексаподов - по одному на уровне каждой вершины деформации (Naqui S.Z.H. et al., 2008; Ganger R. et al., 2009; Keshet D., et al., 2017; Riganti S. et al., 2018; Ray V. et al., 2021; Massobrio M. et al., 2021; Trombetti A. et al., 2022; Tsuchiya, H., 2024) и последовательная коррекция с использованием одного гексапода (Виленский В.А. с соавт., 2019; Баиндурашвили, А. Г. с соавт., 2020).

Но каждой технике присущи свои недостатки. Одновременное использование двух-трех гексаподов достаточно громоздко и некомфортно для

пациента. Непросто выполнять несколько независимых расчетов в компьютерной программе. При последовательной коррекции с использованием одного гексапода всегда стоит выбор, с какого уровня необходимо начать коррекцию; общее время коррекции увеличивается и зависит от количества уровней деформации. Для устранения указанных недостатков была разработана методика одновременной коррекции многовершинных деформаций одним гексаподом: т.н. «пружинная» техника (Соломин Л.Н. с соавт., 2017; Патент РФ №2640999 от 12.01.18). Для ее реализации страты ортопедического гексапода фиксируют только к проксимальной и дистальной опорам. Промежуточные опоры фиксируются к выше- и нижележащим опорам при помощи пружин, благодаря чему фиксированные в них костные фрагменты занимают корректное положение «автоматически».

Степень разработанности темы исследования

«Пружинная» техника применяется в клинической практике с 2014 года (Соломин Л.Н. с соавт., 2017; Патент РФ №2640999 от 12.01.18). Авторами было обращено внимание на возможное нежелательное поперечное смещение промежуточного фрагмента, но способа профилактики этого осложнения разработано не было. Неизвестны особенности оптимального монтажа пружин и их должные технические характеристики, имеются нерешенные вопросы использования компьютерной программы. Поэтому можно было считать, что технически «пружинная» до настоящего времени не была окончательно разработана. Кроме этого, в профильной литературе отсутствуют рекомендации, позволявшие выполнить обоснованный выбор тактики оперативного лечения многовершинной деформации в зависимости от особенностей конкретного клинического случая. Необходимость усовершенствования лечения пациентов с многовершинными деформациями легла в основу цели и задач данного исследования.

Цель исследования - на основании собственных сравнительных клинических исследований и анализа профильных научных публикаций обосновать алгоритм рационального выбора тактики хирургического лечения пациентов с многовершинными деформациями длинных костей нижних конечностей.

Задачи исследования:

1. На основе анализа литературы, посвящённой лечению пациентов с многовершинными деформациями бедренной и большеберцовой костей, выявить и сформулировать показания к одномоментной и дозированной коррекции,

определить нерешенные вопросы и перспективные направления использования аппаратов внешней фиксации, а также использовать эти данные при оценке собственных результатов.

2. При помощи анализа биомеханических взаимодействий и технических расчётов определить технические характеристики пружин, необходимых для реализации «пружинной» техники, обосновать принципы их монтажа с последующим экспериментальным подтверждением полученных выводов. Разработать оптимальные компоновки ортопедического гексапода при коррекции многовершинных деформаций бедренной и большеберцовой костей с помощью эксперимента на пластиковых моделях - для определения особенностей монтажа внешних опор и мест фиксации страт ортопедического гексапода.

3. Усовершенствовать использование компьютерной программы ортопедического гексапода при «пружинной» коррекции многовершинных деформаций в отношении расчетов этапов distraction и собственно коррекции.

4. Выполнить анализ осложнений и исходов лечения пациентов с многовершинными деформациями длинных костей нижней конечности, разбив их на две основные клинические группы: одномоментная коррекция с внутренней фиксацией и постепенная коррекция с применением ортопедического гексапода. Также сравнить результаты лечения пациентов, для лечения которых была выполнена «модифицированная» версия «пружинной» техники с больными, пролеченными согласно «исходной» версии методики и «стандартной» техники постепенной коррекции.

5. На основании результатов сравнительного анализа осложнений и исходов лечения пациентов с многовершинными деформациями длинных костей нижних конечностей, прооперированных по одномоментной и постепенной дозированной методикам, обосновать алгоритм рационального выбора у них лечебной тактики, учитывающий тип коррекции деформаций, особенности предоперационной подготовки, методику операции и схему послеоперационного ведения.

Научная новизна исследования

1. Определены силы, которые при реализации «пружинной» техники воздействуют на промежуточный костный фрагмент и значимость факторов, оказывающих существенное значение на смещение промежуточного фрагмента(ов) при реализации «пружинной» техники: точки фиксации, и направление силы мышц, фиксирующихся к бедренной и большеберцовой костям, масса костного фрагмента и фиксирующего его чрескостного модуля, сила гравитации;

2. Определены основные параметры компоновки АВФ, от которых зависят коррекционные возможности при реализации «стандартной» и «пружинной» техник: тип и расположение платиков, а также длины резьбовых стержней, используемых в компоновке страт;

3. Впервые выявлены требования, которые должны быть учтены при разработке способа применения компьютерной программы ортопедического гексапода для расчетов этапов distraction и коррекции «пружинной» техникой: величина угла между проксимальным и дистальным фрагментами, позиционирование шаблона, имитирующего финальное положение промежуточного фрагмента(ов);

4. Обосновано влияние нежелательного смещения промежуточного фрагмента на длительность периодов коррекции и фиксации.

Практическая значимость работы

1. Разработана методика определения технических характеристик для индивидуальных пружин, необходимых для реализации «пружинной» техники;

2. Теоретически и экспериментально обоснован способ позиционирования пружин и крепления их к опорам, позволяющий избежать смещения промежуточного костного фрагмента(ов) большеберцовой кости;

3. Определены и обоснованы компоновки, позволяющие обеспечить максимальные коррекционные возможности «стандартной» и «пружинной» техник при устранении многовершинных деформаций бедра и голени;

4. Разработаны способы расчета в компьютерной программе ортопедического гексапода этапов distraction и определения оптимального количества дней коррекции при реализации «пружинной» техники;

5. Доказано, что «модифицированная» версия «пружинной» техники коррекции костей голени в сравнении с прототипом обеспечивает меньшую продолжительность периодов коррекции и фиксации;

6. Разработан клинический алгоритм, обосновывающий выбор тактики лечения многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей.

Методология и методы исследования

Настоящее исследование включало в себя взаимосвязанные экспериментальную и клиническую части. Экспериментальная часть включала три основных раздела. Первый раздел предполагал выполнение расчётов сил, воздействующих на промежуточный фрагмент бедренной или большеберцовой кости при помощи формул классической механики, выполнение теоретического обоснования принципов монтажа пружин, а также последующее подтверждение полученных выводов путём выполнения эксперимента на условной кости.

Второй раздел включал в себя реализацию эксперимента с использованием пластиковых моделей костей с целью определения оптимальных компоновок для реализации максимальных коррекционных возможностей «стандартной» и «пружинной» техник. Третий раздел был посвящён особенностям использования компьютерной программы ортопедического гексапода при реализации «пружинной» техники. Данная работа представляет собой проспективно-ретроспективное сравнительное исследование. Данные полученные при реализации экспериментальной части работы были использованы при лечении пациентов проспективной выборки настоящего исследования. В исследование вошли 98 пациентов (113 сегментов), которые, согласно критериям включения, достигли возраста 18-и лет и имели многовершинные деформациями длинных костей нижних конечностей. Лечение больных осуществлялось на базе «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена Минздрава России» с 2014 по 2022 (ретроспективная выборка) и с 2022 по 2024 (проспективная выборка) годы.

Личное участие автора в получении результатов

Автором самостоятельно был подготовлен обзор литературы, обосновавший значимость цели и задач диссертационного исследования. Автором была реализована экспериментальная часть исследования при содействии технической поддержки со стороны специалистов в области физики и механики. При выполнении клинической части исследования автор курировал больных на всех этапах лечения, участвовал в операциях, осуществлял внедрение результатов работы в клиническую практику, также автор принял непосредственное участие в подготовке научных публикаций.

Положения, выносимые на защиту

1. Индивидуальное определение оптимальных характеристик пружин, их монтаж в соответствии оси промежуточного костного фрагмента и крепление к опорам посредством тракционных зажимов позволяют избежать поперечного смещения промежуточного фрагмента(-ов) большеберцовой кости без уменьшения коррекционных возможностей и точности коррекции.

2. Разработанные способы использования компьютерной программы ортопедического гексапода при реализации «пружинной» техники позволяют исключить смещение дистального фрагмента на этапе distraction, а также определять оптимальную длительность периода коррекции деформации.

3. При коррекции многовершинных деформаций костей голени модифицированная версия «пружинной» техники по продолжительности и результатам лечения является такой же эффективной, как и «стандартная», в то же время, являясь более удобной как для врача, так и для пациента.

Степень достоверности и апробация результатов

Полученные результаты диссертационного исследования основываются на анализе тематических публикаций, результатах физико-математических расчётов, экспериментальных исследований на пластиковых моделях костей, а также на анализе результатов лечения 96 пациентов с профильной патологией. Данные были обработаны с использованием методов статистического анализа.

Материалы диссертационного исследования были доложены на следующих мероприятиях: конгресс ASAMI в Канкуне (октябрь 2022), XII съезд травматологов и ортопедов в г. Москве (декабрь 2022), XIII Илизаровские чтения в г. Кургане (июнь 2023), Вреденовские игры, г. Санкт-Петербург (апрель 2024), XIV Илизаровские чтения в г. Кургане (июнь 2024), конгресс ASAMI в г. Пекине (октябрь 2024), X Национальный конгресс с международным участием «Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях» (февраль 2025), LXX Национальный конгресс по ортопедии в г. Гвадалахара (апрель-май 2025).

По теме диссертационного исследования опубликовано 6 научных работ, в рецензируемых научных изданиях 5, а также глава в монографии. На текущий момент результаты диссертационного исследования используются в клинической практике НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, а также включены в обучающие материалы для ординаторов и врачей, проходящих курсы повышения квалификации в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена.

Объём и структура диссертации

Диссертация изложена на 166 страницах машинописного текста, содержит 82 таблицы и 79 рисунков и состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, списка литературы и приложений. Список литературы включает 175 источника: 79 отечественных и 96 - зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность настоящего исследования, сформулирована цель, определены задачи, обрисована научная новизна и практическая значимость работы. Также представлены положения, выносимые на защиту, сведения об апробации результатов работы, объёме и структуре диссертации.

В первой главе выполнен анализ мировой литературы, посвящённой многовершинным деформациям, их определению, диагностике, методикам планирования и лечения. Было отмечено наличие терминологической путаницы:

в литературе как синонимы используются термины «многовершинная деформация» и «многоуровневая деформация». Одновременно с этим термин «многоуровневая деформация» используется для обозначения одновершинных деформаций разных сегментов конечности. Однако, термин «многовершинная деформация» априори показывает наличие у кости двух и более вершин деформации, что является основой рекомендовать преимущественное использование именно этого термина. Основным диагностическим признаком многовершинных деформаций является локализация «общей» вершины (точка пересечения осей проксимального и дистального отделов кости) за пределами границ кости. При планировании коррекции многовершинных деформаций характерной особенностью является корректное определение и использование оси промежуточного фрагмента(ов). Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей может выполняться одномоментно с последующей внутренней фиксацией, а, при наличии противопоказаний, во времени - по Илизарову. Для реализации постепенной коррекции достаточно широко используются ортопедические гексаподы. Их главным преимуществом, в сравнении с унифицированными коррекционными узлами по Илизарову, является возможность одновременного устранения всех компонентной деформации. В литературных источниках было найдено упоминание о трёх методиках использования ортопедических гексаподов. Это т.н. «стандартная» методика, предполагающая использование нескольких гексаподов, методика последовательной коррекции деформации и «пружинная» техника (Рисунок 1).

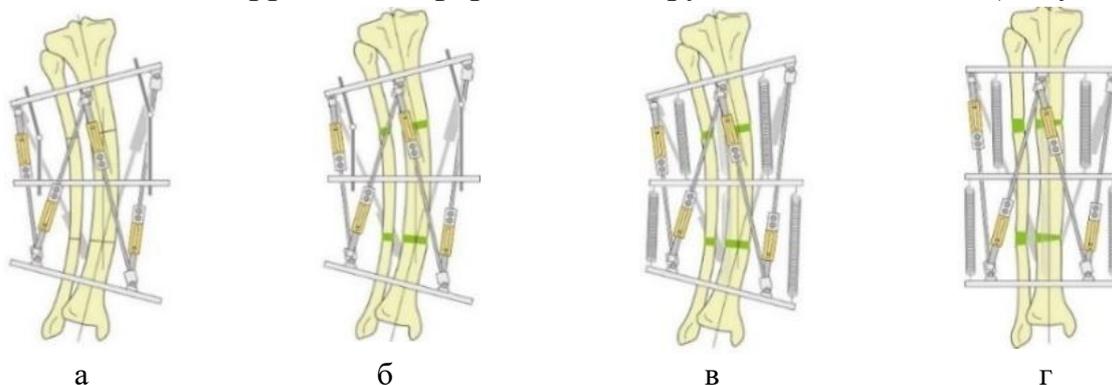
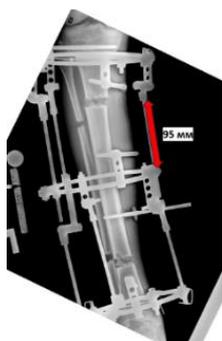


Рисунок 1 - Коррекция двухвершинной деформации при помощи одного ортопедического гексапода с использованием «пружинной» техники: а - схема первоначальной компоновки конструкции; б - выполнение дистракции, достижение межфрагментарного диастаза на уровнях обеих вершин, проксимальной - при помощи двухплоскостных шарниров, дистальной - при помощи ортопедического гексапода; в - установка эластичных тяг (пружин), при помощи которых промежуточная опора фиксируются к выше- и нижележащим опорам; г - выполнена одновременная коррекция на уровнях обеих вершин, промежуточный фрагмент «автоматически» занимает своё положение при помощи эластичных тяг

«Пружинная» техника была предложена как альтернатива двум другим методикам, т.к. лишена присущих им недостатков. Для её реализации требуется всего один ортопедический гексапод, что обеспечивает бóльший комфорт как для врача, так и для пациента. Однако, при анализе литературы было отмечено, что «пружинная» техника имеет ряд нерешённых вопросов, что было ранее отмечено в разделе «Степень разработанности темы исследования».

Во второй главе представлены материалы и методы работы, включавшей экспериментальную (задачи №2,3) и клиническую части (задачи №4,5)

Решение второй задачи включало в себя две основные части. Первая предполагала физико-техническое обоснование «пружинной» техники. Целью являлась минимизация рисков нежелательного смещения промежуточного фрагмента, которое отмечалось у 74% больных ретроспективной выборки. При помощи анализа биомеханических взаимодействий и математических расчётов было определено, какие силы воздействуют на промежуточный фрагмент кости при реализации «пружинной» техники и при каком положении сегмента риск нежелательного смещения промежуточного фрагмента является наибольшим. На основе полученных выводов реализовывалась методика расчёта оптимальных технических характеристик индивидуальных пружин (Рисунок 2). В качестве исходных данных требовалось определение их оптимальной длины в рабочем состоянии (Рисунок 2а), а также величины поперечной восстанавливающей силы (Рисунок 2б-д). На основе полученных показателей для конкретного пациента в соответствии с ГОСТ 13765-86 выполнялся расчёт технических характеристик: диаметр и количество витков пружины, диаметр проволоки, длина в нейтральном положении.



а



б



в



г

Продолжение Рисунка 2

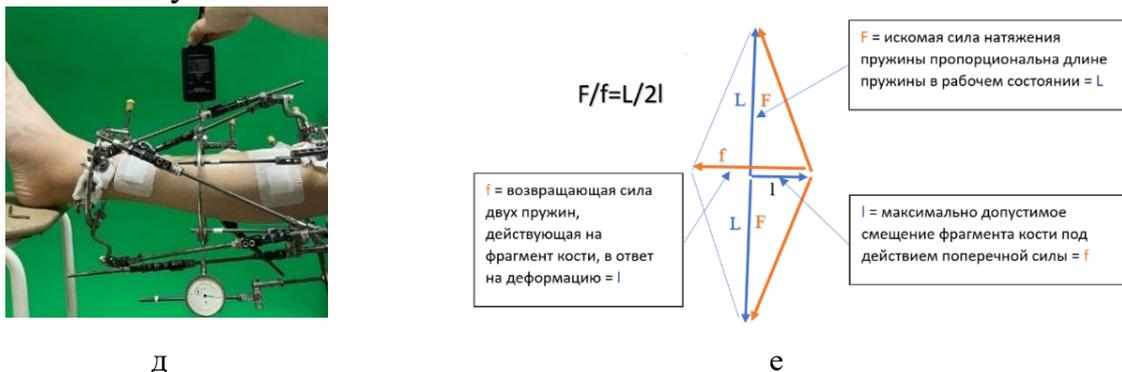


Рисунок 2 - Определение оптимальных технических характеристик для индивидуальных пружин: а - замер расстояния для определения максимальной рабочей длины производился параллельно оси промежуточного фрагмента (аналогично рекомендованной позиции пружин); б,в - позиционирование многооборотного индикатора по отношению к промежуточной опоре при зафиксированных двухплоскостных шарнирах; г - при «расслаблении» шарниров происходит смещение промежуточной опоры, что регистрирует индикатор; д - при помощи динамометра определяется значение поперечной восстанавливающей силы, возвращающей промежуточную опору в прежнее положение; е - графическое изображение треугольников сил и поперечных перемещений, при помощи которого определяется значение продольной восстанавливающей силы пружины

Для определения оптимального способа крепления пружин к опорам и позиционирования относительно промежуточного фрагмента выполнялся эксперимент на пластиковой модели «условной» кости. Исходная модель имитировала одноплоскостную двухвершинную деформацию с общей величиной углового компонента 50° на момент окончания периода distraction. При выполнении эксперимента пружины крепились к опорам двумя различными способами: напрямую и посредством тракционных зажимов. Также были исследованы различные варианты их позиционирования относительно промежуточного фрагмента, а именно: параллельно анатомической оси фрагмента и независимо от неё. Задачей было добиться отсутствия смещения промежуточного фрагмента после демонтажа двухплоскостных шарниров, используемых на этапе distraction.

Для решения второй части второй задачи был выполнен эксперимент по определению оптимальных компоновок для реализации «стандартной» и «пружинной» техник коррекции. С этой целью был выполнен эксперимент по определению коррекционных возможностей с использованием пластиковых моделей бедренной и большеберцовых костей. Эксперимент выполнялся от

обратного, то есть не устранялась имеющаяся деформация, а из исходного состояния, имитирующего результат коррекции, дистальный фрагмент перемещался, имитируя тот или иной компонент деформации (Рисунок 3).

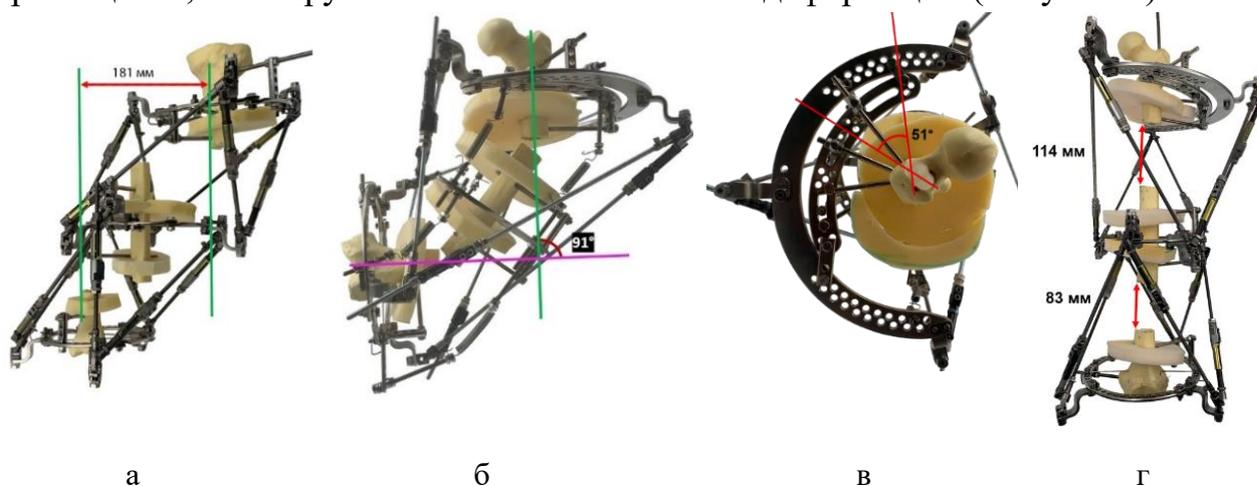


Рисунок 3 - Измерение величин перемещения при исследовании коррекционных возможностей компоновок ортопедического гексапода «Орто-СУВ». а - измерение величины поперечного перемещения; б - измерение величины углового перемещения; в - измерение величины торсионного смещения; г - измерение величины осевого перемещения

Перемещения в режиме «быстрых страт» выполнялись до тех пор, пока любая из страт достигала максимальной или минимальной длины, а также в случае, если страта сталкивалась с внешними опорами, чрескостными элементами или «мягкими тканями». Для каждой из методик были разработаны «специфические», «универсальные» и «универсальные клинические» компоновки. «Специфические» компоновки позволяли обеспечить максимального возможную величину одного типа смещения дистальной опоры: под углом (варус, вальгус, антекурвация, рекурвация), по ширине (кпереди, кзади, латерально, медиально), вдоль оси («дистракция») и ротационное перемещение (кнутри, кнаружи). После этого на основе «специфических» компоновок были разработаны «универсальные». «Универсальные» компоновки позволяли достичь максимально возможную величину всех вариантов перемещения дистальной опоры. «Универсальные клинические» компоновки были разработаны с целью снижения дискомфорта для больных. Они представляли собой версии универсальных (2-я серия), в которых при компоновке на бедре Z-платики отсутствовали по задней и медиальной поверхности на всех опорах. При «универсальных клинических» компоновках, разработанных для голени, Z-платики отсутствовали на всех опорах по задней поверхности и на проксимальной опоре по медиальной поверхности.

Для обозначения оптимальных точек фиксации страт к опорам использовалась система координат метода унифицированного обозначения чрескостного остеосинтеза (МУОЧО) (Соломин Л.Н., 2005, 2014).

При решении третьей задачи было выполнено экспериментальное исследование, по результатам которого были определены особенности использования компьютерной программы ортопедического гексапода при реализации «пружинной» техники. Опробовались различные варианты позиционирования маркёров осей фрагментов с целью избежать нежелательного смещения дистального фрагмента на этапе distraction. Для определения оптимального количества дней коррекции, точки SAR#1 и SAR#2 (т.н. «Структуры риска») позиционировались таким образом, чтобы при выполнении коррекции удлинение каждого из distractionных регенератов составляло не более 1 мм/день. Для определения оптимального количества дней коррекции многовершинной деформации с наличием торсионного компонента был выполнен дополнительный эксперимент. Для него использовалась компьютерная программа ортопедического гексапода. Первым этапом с использованием рентгенограмм ретроспективных больных измерялись размеры поперечников костей. При помощи статистического анализа выборка подразделялась на три группы: малый, средний и большой размеры. Далее при помощи компьютерной программы выполнялась имитация коррекции угловой деформации разных величин с постепенно возрастающими значениями торсионных компонентов. Количество дней, необходимых для устранения деформации, заносилось в таблицу. Эксперимент повторялся с «фрагментами», имеющими различные длины поперечников.

В рамках решения четвёртой задачи был выполнен сравнительный анализ результатов лечения больных, разделённых на две основные группы: одномоментная коррекция и внутренняя фиксация (19 больных, 20 сегментов: бедро - 15, голень - 5) или постепенной коррекции с использованием ортопедических гексаподов. Вторая группа включала в себя две подгруппы. При помощи «стандартной» техника было устранено 28 многовершинных деформаций (27 больных), из которых 7 деформаций бедренных костей, а 21 - костей голени. Согласно методике «пружинной» техники было пролечено 65 сегментов (13 бёдер, 52 голени). Из них 34 (7 бёдер и 27 голени) было проанализировано ретроспективно, а 31 (6 бёдер, 25 голени) - проспективно. Статистическому анализу подвергались следующие показатели: пол, возраст, характеристика деформации, точность и длительность коррекции, сроки лечения, а также его функциональный результат, наличие и категория осложнений.

В третьей главе представлены и обсуждены результаты экспериментальной части исследования. Было определено, что наибольший риск нежелательного

смещения промежуточного костного фрагмента при реализации «пружинной» техники возникает при горизонтальном положении сегмента. Для предотвращения этого был разработан т.н. «пружинный блок». «Пружинный блок» состоит из 6 (для двухвершинной деформации) или 9 (для трёхвершинной) элементов, каждый из которых состоит из пружины и двух зажимов, посредством которых пружина фиксируется к опорам (Рисунок 4а). Позиционирование пружин осуществляется параллельно по отношению к оси промежуточного костного фрагмента (Рисунок 4б). Если же фрагмент нелинеен (или имеются 3 вершины деформации), то ориентиром является перпендикуляр к биссектрисе угла истинной деформации (Рисунок 4в).

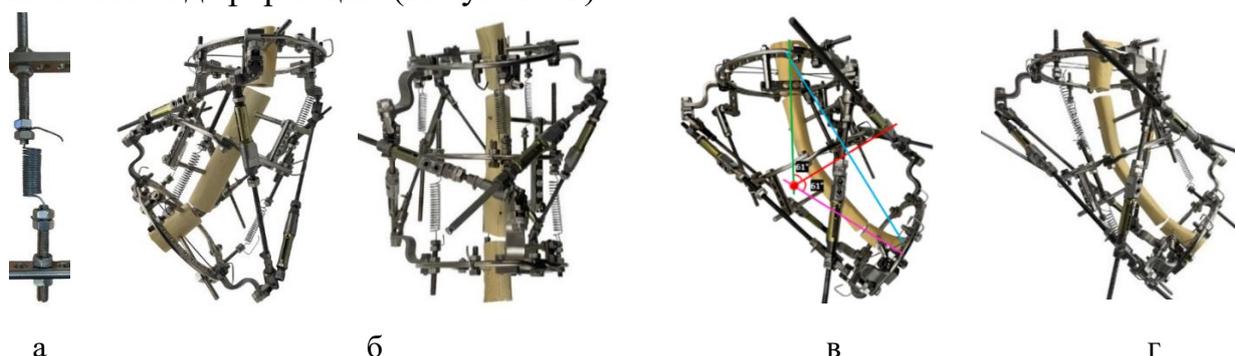


Рисунок 4 – «Пружинный» блок и его корректное позиционирование относительно оси промежуточного фрагмента: а - внешний вид пружины с тракционными зажимами; б - пружины позиционированы параллельно к оси промежуточного фрагмента в обеих плоскостях, трансляция отсутствует; в - промежуточный фрагмент не линеен, поэтому ориентиром для позиционирования пружин является перпендикуляр (обозначен голубым цветом) к биссектрисе угла деформации (обозначена красным цветом); г - выполнен монтаж пружин при наличии нелинейного промежуточного фрагмента, трансляция отсутствует

По результатам эксперимента по определению коррекционных возможностей были разработаны оптимальные компоновки для реализации «традиционной» и «пружинной» техник (Рисунок 5). Было определено, что «универсальная» компоновка для реализации «пружинной» техники коррекции деформаций бедренной кости в 6 видах перемещений из 11 превосходит «стандартную» в среднем 56% (14-115%) и в 1 виде из 11 - при имитации деформаций голени (преимущество 37%). Результаты эксперимента обосновали, что для реализации максимальных коррекционных возможностей («универсальная» компоновка) «пружинной» техники для бедренной кости необходима фиксация страт к базовой опоре на 1, 9 и 6 «часах» (согласно системы координат МУОЧО), а к мобильной опоре - на 12, 8 и 4 «часах». Для крепления всех страт рекомендуется использовать Z-пластики, фиксируемые в направлении

промежуточного фрагмента(ов), а в комплектации страт применять резьбовые стержни длиной не менее 310 мм. Для обеспечения максимальных коррекционных возможностей при устранении деформаций голени оптимальными позициями для фиксации страт являются: 11, 7 и 4 «часа» для базовой опоры и 9,6,2 - для мобильной опоры. Фиксацию к опорам стоит осуществлять при помощи Z-пластиков, ориентированных в сторону промежуточного фрагмента(ов), а минимальная длина резьбовых стержней, которыми укомплектованы страты должна составлять не менее 200 мм.

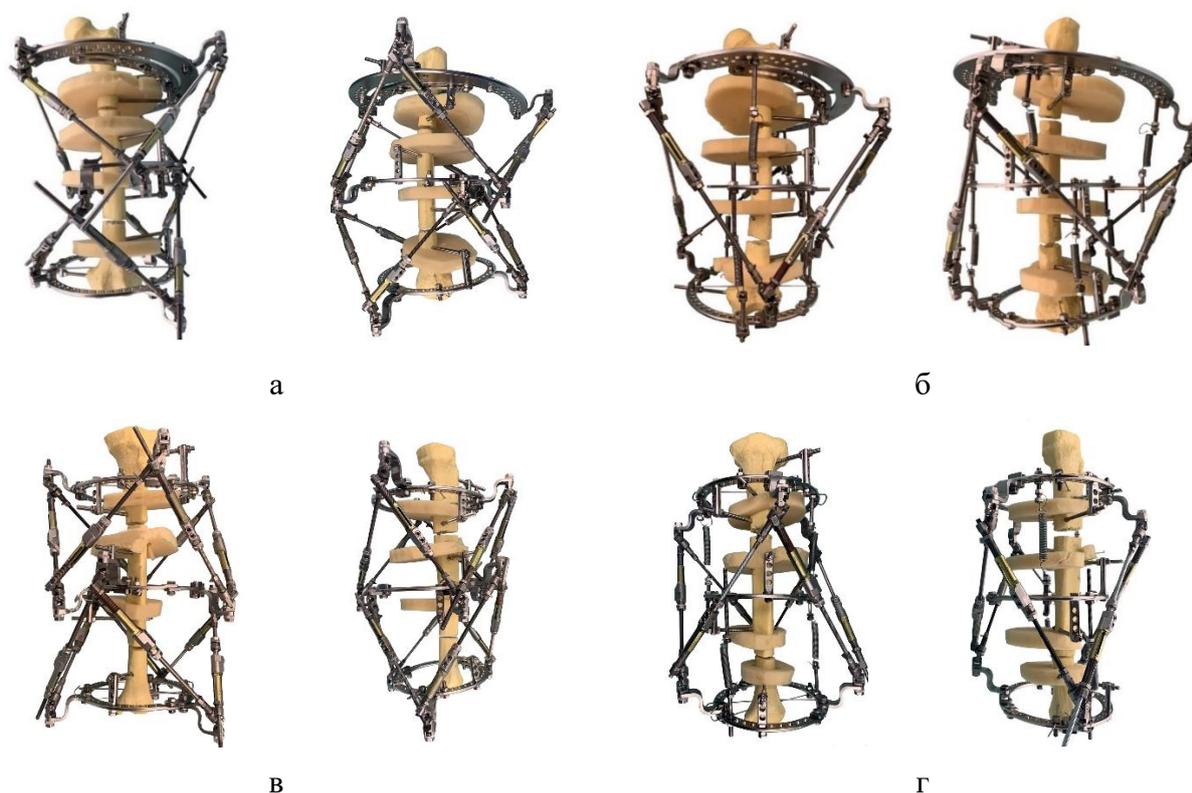


Рисунок 5 – «Универсальные» компоновки для коррекции многовершинных деформаций длинных костей нижней конечности: а - «стандартная» техника, бедренная кость; б - «пружинная» техника, бедренная кость; в - «стандартная» техника, большеберцовая кость; г - «пружинная» техника, бедренная кость

Также в рамках экспериментальной части исследования были определены особенности использования компьютерной программы ортопедического гексапода при реализации «пружинной» техники. Было выявлено, что для того, чтоб избежать нежелательного смещения дистального фрагмента на этапе дистракции необходимо позиционирования маркёров осей фрагментов («ёлочек») в соответствии с осью дистального костного фрагмента. Также обосновано, что для определения оптимального количества дней коррекции необходимо определения величины наибольшего изменения длины дистракционных регенератов. Для реализации способа выполняется замер длин

дистракционных регенератов в зонах наибольшего удлинения на момент начала коррекции и её окончания. Для определения конечного положения костных фрагментов используются алгоритмы компьютерной программы ортопедического гексапода (дистальный фрагмент), а также шаблон промежуточного фрагмента. Шаблон изготавливается индивидуально: его контуры должны полностью совпадать с контурами промежуточного фрагмента. После изменения длин дистракционных регенератов выполняется вычитание начальных значений из конечных на каждом из уровней. Наибольшей разнице длин соответствует оптимальное количество дней коррекции. При наличии ротационного компонента деформации необходимо воспользоваться таблицами, разработанными в рамках настоящего исследования. Таблицы отражают зависимость количества дней коррекции от наличия торсии и содержат данные при каких величинах на сколько процентов длительность периода коррекции возрастает. Величина возрастания должна быть умножена на коэффициент 0,6 для двухвершинных деформаций или 0,4 – для трёхвершинных.

Четвёртая глава посвящена клинической части исследования (задачи № 4 и 5), включающей реализацию сравнительного анализа результатов лечения пациентов с многовершинными деформациями и обоснование клинического алгоритма рационального подбора тактики оперативного лечения.

Группы пациентов с многовершинными деформациями костей голени, пролеченных по «стандартной» методике, а также «исходной» (ретроспективно) и «модифицированной» (проспективно) версиям «пружинной» техники были статистически сравнимы по всем исследуемым показателям (Таблица 1).

Таблица 1 - Характеристика пациентов Гр.2.1, 2.2.1. и 2.2.2. Ме [Q25; Q75]

Показатели	Гр.-2.1 («стандартная» техника)	Гр.-2.2.1. Исходная версия «пружинной» техники	Гр.-2.2.2. Модифицированн ая версия «пружинной» техники
Количество пациентов/сегментов, n	20/21	24/27	23/25
Возраст, лет.	34 [24;42]	32 [23,5;40]	40 [26;46]
Пол, м/ж	10 (48%)/11 (52%)	10 (37%)/17 (63%)	11 (44%)/14 (56%)
Этиология, врождённая/приобретённ ая	11 (52%)/10 (48%)	22 (82%)/5 (18%)	16 (64%)/9 (36%)
Тип деформации во фронтальной плоскости, варус/вальгус	8 (38%)/12 (57%)	12 (44%)/15 (56%)	12 (48%)/ 13(52%)

Продолжение Таблицы 1

Тип деформации во фронтальной плоскости, варус/вальгус	8 (38%)/12 (57%)	12 (44%)/15 (56%)	12 (48%)/ 13(52%)
Тип деформации в сагиттальной плоскости, антекурвация/рекурвация	12 (57%)/3 (14%)	17 (63%)/ 4(15%)	19 (76%)/ 2(8%)
Величина угловой деформации (фронтальная плоскость), °	25 [16;34]	24 [15;38]	20 [17;28]
Величина угловой деформации (сагиттальная плоскость), °	15 [0;29]	12 [5;20,5]	10 [5;14]
Удлинение, кол-во (%) / величина, мм	8 (38%)/0 [0;20]	6 (22%)/0 [0;0]	7 (28%)/0 [0;15]
Торсионный компонент, кол-во (%) / величина, °	7 (33%)/0 [0;10]	7 (32%)/0 [0;5]	10 (40%)/0 [0;14]
Число остеотомий (кол-во -%)	2 (21-100%)	2 (24-89%)/3 (3-11%)	2 (24-96%)/3 (1-4%)

По результатам анализа определено, при реализации «модифицированной» версии «пружинной» техники для коррекции деформаций голени продолжительность лечения меньше, чем при «исходной» версии методики (Таблица 2). В частности, период коррекции (без учёта дистракции) короче на 12 дней, а период фиксации на 53 дня (медианные значения). Статистически значимая разница в показателях точности коррекции, а также данных субъективного опросника качества жизни и функции сегмента (LEFS) отсутствовала.

Нежелательное смещение промежуточного фрагмента было отмечено у 70% пациентов ретроспективной выборки и 20% проспективной. Результаты сравнения позволили выявить негативное влияние данного фактора на продолжительность периодов коррекции и фиксации (Таблица 2).

Таблица 2 - Длительность отдельных периодов лечения пациентов. Ме [Q25; Q75]

Показатели (дни)	Гр.-2.2.1. Исходная версия «пружинной» техники	Гр.-2.2.2. Модифицированная версия «пружинной» техники	p
Период коррекции	34 [23,5;59]	21 [18;35]	p < 0,05

Продолжение Таблицы 2

Период коррекции (без учёта дистракции)	25 [18,46,5]	13 [8;22]	$p < 0,05$
Период фиксации	303 [232,5;522,5]	250 [190; 334]	$p < 0,05$

При сравнении проспективной выборки «пружинной» техники с подгруппой «стандартной» методики коррекции многовершинных деформаций голени не было выявлено статистически значимой ($p < 0,05$) разницы ни в показателях точности коррекции, ни в данных опросника LEFS, ни в длительности периодов лечения (Таблица 3).

Таблица 3 - Длительность отдельных периодов лечения пациентов. Me [Q25; Q75]

Показатель (дни)	Гр.-2.1 («стандартная» техника)	Гр.-2.2.2. Модифицированная версия «пружинной» техники	p
Период коррекции	30 [18;35]	21 [18;35]	$p > 0,05$
Период коррекции (без учёта дистракции)	16 [10;24]	13 [8;22]	$p > 0,05$
Период фиксации	245 [215;282]	250 [190; 334]	$p > 0,05$

В то же время было отмечено, что «пружинная» техника требует меньших трудозатрат от врача, что заключается в необходимости монтажа только одного гексапода и выполнения меньшего количества расчётов в компьютерной программе. Кроме этого, в тех случаях, когда расстояние между опорами менее 10-12 см, монтаж при «пружинной» технике является более простым, а громоздкость компоновки значительно ниже, чем при «стандартной» технике. Также разработанная методика снижает дискомфорт от лечения для больного за счет того, что приходится изменять длину только 6 страт и меньшего веса конструкции.

Сравнение «пружинной» техники коррекции деформаций голени с одномоментной коррекцией не было выполнено по причине выраженной разницы (80%) в объёме выборок, что противоречит правилам статистики.

Сравнительный анализ результатов лечения пациентов с «исходной» и «модифицированной» версиями «пружинной» техники коррекции многовершинных деформаций бедра был выполнен согласно правилам статистического анализа для групп менее 10 единиц. По результатам не было

выявлено статистически значимой разницы по всем изучаемым критериям ($p > 0,05$), включая частоту смещения промежуточного фрагмента. Аналогичный результат был отмечен и при сравнении усовершенствованной версии «пружинной» техники со стандартной.

Группы пациентов с многовершинными деформациями бедренных костей, пролеченных согласно методикам одномоментной коррекции и «пружинной» техники были сравнимы по всем исследуемым показателями (Таблица 4).

Таблица 4 - Характеристика пациентов обеих групп. Ме [Q25; Q75]

Показатель	Гр.-1. Одномоментная коррекция и внутренняя фиксация	Гр.-2.2 Постепенная коррекция методикой «пружинной» техники
Количество пациентов/сегментов, n	14/15	13/13
Возраст, лет.	36 [26,75;53,75]	27 [26;36]
Пол, м/ж	4 (27%)/11 (73%)	5 (38%)/8 (62%)
Этиология, врождённая/приобретённая	11 (73%)/4 (27%)	7 (54%)/6 (46%)
Тип деформации во фронтальной плоскости, варус/вальгус	12 (80%)/3(20%)	8 (62%)/5 (38%)
Тип деформации в сагиттальной плоскости, антекурвация/рекурвация	9(60%)/0(0%)	9 (69%)/0 (0%)
Величина угловой деформации (фронтальная плоскость), °	29 [24;46]	30 [16;37]
Величина угловой деформации (сагиттальная плоскость), °	0 [0;15]	7 [0;30]
Торсионный компонент, кол-во (%)/величина, °	5 (33%)/0 [0;13]	5 (38%)/0 [0;13]

При сравнении групп статистически значимой разницы в продолжительности консолидации выявлено не было ($p > 0,05$). В то же время, была отмечена значительная разница ($p < 0,05$) в точности коррекции: 60% для группы одномоментной коррекции и 92% - для постепенной. Средняя величина «недокоррекции» при одномоментном устранении деформации составила 7° (2-14) во фронтальной плоскости и 5° (2-10) – в сагиттальной. Эти результаты согласуются с данными мировой литературы (Tetsworth K. D. et al.,1994;

Косаоглу, М. et al.,2009; Eralp, L. et al.,2011). Данный факт объясняется бóльшей зависимостью от навыков оперирующего хирурга (Paley D. Et al.,1997).

Данные опросника LEFS позволили подтвердить тезис о бóльшем комфорте внутренней фиксации для пациентов. На этапе периода фиксации субъективный показатель составил 43 [35;47] (Me [Q25; Q75]) для группы одномоментной коррекции и 23 [22;28] для постепенной.

Для решения пятой задачи был обоснован клинический алгоритм, призванный упростить подбор тактики оперативного лечения (Рисунок 6). На основании данных литературы и результатов клинического исследования было определено, что одномоментная коррекция с внутренней фиксацией является методикой, позволяющей обеспечить более комфортное лечение для пациента, а также избавить его от характерных для внешней фиксации осложнений. При невозможности реализации данного способа рекомендуется выполнение коррекции во времени. Выбор способа постепенной коррекции зависит от особенностей конкретного случая, отражённых в ячейках алгоритма.



Рисунок 6 - Алгоритм рационального подбора тактики оперативного лечения при коррекции многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей

В заключении представлено краткое резюме о решении всех пяти поставленных задач диссертационного исследования, а также подведены общие итоги работы.

ВЫВОДЫ

1. Анализ профильной литературы подтвердил высокую эффективность использования ортопедических гексаподов для постепенной коррекции многовершинных деформаций, а также необходимость усовершенствования «пружинной» техники.

2. Индивидуальное определение оптимальных характеристик пружин, их крепление к опорам посредством тракционных зажимов и монтаж в соответствии с осью промежуточного костного фрагмента позволяют избежать поперечного смещения фрагментов большеберцовой кости.

3. Для реализации максимальных коррекционных возможностей «пружинной» техники необходимо использовать страты с резьбовыми стержнями длиной не менее 310 мм для бедренной кости и не менее 209 мм для большеберцовой кости. Это при коррекции деформаций бедренной кости обеспечивает превосходство над стандартной техникой в 6 видах перемещений из 11 на 56% (14-115%), при коррекции деформаций костей голени - в 1 из 11 на 37%.

4. Для исключения поперечного смещения дистального фрагмента на этапе distraction маркеры осей фрагментов необходимо располагать в соответствии с осью дистального фрагмента. Способа расчета оптимального количества дней коррекции при использовании «пружинной» техники основан на моделировании положения промежуточного фрагмента(ов) при помощи шаблона и измерения длин каждого из distractionных регенератов.

5. Методика одномоментной коррекции в сравнении с постепенной обеспечивает меньшую точность, имеет ограниченные показания, однако, она более комфортна для пациентов и позволяет избежать характерных для внешней фиксации осложнений.

6. Компоновка аппарата внешней фиксации для реализации «пружинной» техники до 1 кг легче, чем при для «стандартной», методике, необходим только один расчёт в компьютерной программе и изменения длин только 6 страт. Это делает «пружинную» технику более комфортной методикой как для врача, так и для пациента, особенно, при наличии малого (12 и менее см) расстояния между опорами.

7. Модифицированная версия «пружинной» техники в сравнении с исходной предполагает меньшую продолжительность периодов коррекции (Me на 12 дней) и фиксации (Me на 53 дня). Модифицированная версия «пружинной» техники и «стандартная» техники имеют одинаковые показатели точности коррекции и длительности периодов коррекции и фиксации ($p > 0,05$)

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При планировании коррекции многовершинной деформации с нелинейным промежуточным фрагментом согласно «стандартной» методике коррекции рекомендуется определять т.н. «назначенную» ось промежуточного костного фрагмента. «Назначенной» оси соответствует та часть оси сегмента, которая находится в пределах границ промежуточного костного фрагмента по результатам имитации коррекции.

2. В ситуации, когда при планировании коррекции ось промежуточного фрагмента не удаётся позиционировать в пределах границ кости на всём протяжении рекомендуется выполнять три остеотомии. В противном случае возникает высокая вероятность «клинически неприемлемого» результата.

3. При монтаже АВФ рекомендуется, по возможности, позиционировать промежуточную опору максимально близко к середине расстояния между проксимальной и дистальной опорами, поскольку это делает более простым, в зависимости от выбранной методики, монтаж нескольких ортопедических гексаподов или пружин.

4. При необходимости использования сферических шайб для корректного позиционирования пружин необходимо следить за неизменностью положения тракционных зажимов относительно опоры, в особенности, при изменении величины натяжения. Для этого, при выполнении данной манипуляции, рекомендуется пользоваться помощью ассистента, который осуществляет фиксацию зажима и смещает его строго вдоль оси без изменения угла наклона, в то время как ортопед выполняет перемещение гаек.

5. При «стандартной» технике коррекции, перед выполнением расчёта в компьютерной программе гексапода, следует заранее нанести на рентгенограммы «назначенную» ось промежуточного костного фрагмента, определённую при планировании. Это значительно облегчит позиционирование маркёров осей фрагментов.

6. При определении оптимального количества дней коррекции при реализации «пружинной» техники в момент имитации конечного положения промежуточного фрагмента может происходить наложение контуров шаблона на «красный» контур. При возникновении данной ситуации необходимо дать дополнительную distraction. В противном случае при реализации коррекции произойдёт столкновение костных фрагментов.

7. При использовании «пружинной» техники пациент должен быть осведомлён, что в связи с эластичной фиксацией промежуточного костного фрагмента, в период коррекции следует избегать внешнего давления на фиксирующего его опору, в том числе находясь в положении лёжа.

8. После завершения периода коррекции, при отсутствии противопоказаний, рекомендуется рассмотреть возможность перехода на внутреннюю фиксацию.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПЕЧАТНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Коррекция многовершинных деформаций длинных костей нижних конечностей: обзор литературы / Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н. // Травматология и ортопедия России. – 2023. Т.29. № 4. Стр.134-146. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-11174>.

2. Экспериментальное определение коррекционных возможностей пружинной техники при устранении многовершинных деформаций бедренной кости. / Соломин Л.Н., Головёнкин Е.С., Сабиров Ф.К., Вешнякова А.В.// Травматология и ортопедия России. – 2024. Т. 30. №3. Стр. 75-84. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17508>.

3. Сравнительный анализ коррекции многовершинных деформаций костей голени при помощи различных методик использования ортопедических гексаподов / Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н. // Геней ортопедии. – 2025. Т. 31. № 3. Стр. 287-296. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-3-287-296>.

4. Correction of Complex Femur Periprosthetic Deformity// Limb Lengthening and Reconstruction Surgery Case Atlas/ Leonid N. Solomin, Elena Shchepkina, Fanil Sabirov, Sergei Lasunsky, and Evgenii Golovenkin - 2024. Pp.105-109. ISBN 978-3-031-77356-3.

5. Патент №2839808 Российская Федерация. МПК А61В 17/62 (2006.01) А61В 17/66 (2006.01) А61В 6/03 (2006.01) А61В 6/50 (2024.01). Способ коррекции многовершинных деформаций длинных костей: № 2024116132: заявлено 11.06.2024: опубликовано 12.05.2025 / Головёнкин Е.С., Соломин Л.Н., Утехин А.И., Рохоев С.А., патентообладатель: ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России. – 26 с.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024664498. Способ расчёта оптимального количества дней коррекции при реализации «пружинной техники: № 2024660986 / Утехин А.И., Соломин Л.Н., Головёнкин Е.С., Вешнякова А.В., Постарнак С.О., Шматина Е.А., Раскова М.П., правообладатель: ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России.