

На правах рукописи



Щербаков Иван Михайлович

**Динамический цефаломедуллярный остеосинтез в лечении пациентов старших
возрастных групп с чрезвертельными переломами**

3.1.8. Травматология и ортопедия

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор

Дубров Вадим Эрикович

Официальные оппоненты:

Гильфанов Сергей Ильсуверович – доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента Российской Федерации, травматолого-ортопедическое отделение, заведующий отделением

Солод Эдуард Иванович – доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, научно-поликлиническое отделение травмы взрослых и ее последствий, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «18» сентября 2023 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.26 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119435, г. Москва, ул. Большая Пироговская, д.2, строение 1

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

Автореферат разослан « ____ » _____ 2023 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

доктор медицинских наук, профессор

Тельпухов Владимир Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Большинство переломов проксимального отдела бедренной кости (ПОБК) и, в частности, чрезвертельных переломов, происходит у пациентов пожилого, старческого возраста и у долгожителей, являясь одной из самых частых причин для госпитализации в этих возрастных группах и представляя серьезную медицинскую и социально-экономическую проблему в современном мире [Гильфанов, 2010; Дулаев, Минасов и др., 2013; Atzmon и др., 2021; Fischer и др., 2021; Gleich и др., 2021]. По данным ряда авторов, до трех четвертей этих повреждений приходится на пациентов старше 75 лет. Абсолютное число пациентов с переломами ПОБК растет в связи с повышением продолжительности жизни населения и увеличением доли лиц старше 65 лет, страдающих остеопорозом различной этиологии. По оценкам экспертов, к 2050 г. в мире ежегодно будет происходить до 4,5 млн переломов ПОБК, около половины которых будут составлять чрезвертельные переломы.

Стратегия раннего хирургического вмешательства (остеосинтеза) при чрезвертельных переломах бедренной кости в настоящее время завоевывает все больше и больше сторонников и включена в ряд зарубежных и отечественных клинических рекомендаций. Остеосинтез позволяет достичь стабилизации отломков и дает возможность ранней мобилизации пациента, тем самым разрывая порочные гипостатические патофизиологические круги [Atzmon и др., 2021; Fischer и др., 2021; Gleich и др., 2021; Pfeufer и др., 2019b].

Несмотря на это, результаты лечения пациентов с чрезвертельными переломами далеки от идеальных. Смертность в группе пациентов с переломами ПОБК составляет до 10% через 1 месяц после травмы и до 30% через 1 год после травмы даже при оперативном лечении, а при консервативном достигает 63%. Однако среди выживших около 60% пациентов, которые до травмы вели самостоятельный образ жизни, после перелома полностью себя обслуживать уже не могут, а 25% становятся беспомощны и нуждаются в постоянном уходе [Воронцова и др., 2016; Gleich и др., 2021; Lu, Uppal, 2019].

Одной из основных причин неудовлетворительных исходов лечения является снижение функциональных возможностей и коморбидность пациентов этих возрастных групп, а также наличие у многих пациентов состояния, описываемого в литературе по гериатрии термином «хрупкость», или «frailty». Это состояние обуславливает низкий реабилитационный потенциал, высокий риск тяжелых нарушения гомеостаза организма даже при незначительных внешних воздействиях и повышенный риск сердечно-сосудистых, легочных, тромбоэмболических, инфекционных осложнений и кровотечений. Развитие вышеупомянутых осложнений приводит к неудовлетворительному результату лечения, что неизбежно снижает качество жизни и мешает

возврату к дотравматическому уровню физической и социальной активности [Ми и др., 2021; Munckhof van den, Zadpoor, 2014].

Особую группу пациентов составляют больные, которые при сохранении способности ходить не могут полностью следовать реабилитационной стратегии после выполнения операции, из-за чего при ходьбе полностью опираются на оперированную ногу. До сих пор среди травматологов встречается мнение, что у таких пациентов хирургическое лечение противопоказано из-за крайне высокого риска осложнений ортопедического характера – несращение переломов, миграция элементов фиксатора и вторичное смещение отломков, периимплантные переломы и т.п. Возникновение этих осложнений определяется комплексом как биологических (нарушение кровообращения в зоне перелома, замедление процессов репарации костной ткани), так и биомеханических (недостаточная прочность костной ткани на фоне остеопороза, неблагоприятное перераспределение нагрузок в кости и фиксаторе с формированием зон концентрации напряжений, превышающий прочность конструкции) факторов. Развитие ортопедических осложнений значительно снижает качество жизни пациента и нередко требует повторных операций [Baer и др., 2019; Gleich и др., 2021; Pfeufer и др., 2019b].

Именно осложнения ортопедического характера, по мнению многих авторов, нуждаются в дальнейшем изучении для поиска способа снижения их частоты, что делает актуальной тему настоящего исследования.

Степень разработанности проблемы

Частота ортопедических осложнений после остеосинтеза чрезвертельных переломов достаточно высока и ухудшает результаты лечения пожилых пациентов. Причинами таких осложнений могут быть недостаточная репозиция отломков и нарушения технологии имплантации фиксатора, однако даже в случае полного соблюдения хирургических технологий полностью избежать возникновения осложнений не удастся .

Среди возможных причин выделяют снижение надежности фиксации из-за остеопороза, повышенный риск повторных падений. Однако в общем риск возникновения механических осложнений для каждой конкретной системы определяется соотношением предельно допустимой нагрузки и её реальных значений на различных этапах репарации кости в процессе послеоперационной реабилитации. Важным производящим фактором для развития осложнений может быть полная нагрузка на оперированную конечность при ходьбе. У молодых пациентов можно модифицировать степень нагрузки на конечность в зависимости от качества костной ткани и способа фиксации отломков, поскольку они могут ходить с использованием дополнительных средств опоры (костыли, ходунки) и осознанно регулировать степень нагрузки на конечность в течение всего периода реабилитации. Пожилые пациенты зачастую этого делать не могут, но отказ от раннего начала ходьбы сопряжен с увеличением частоты развития

осложнений и смертности. В последнее десятилетие в литературе, в международных и отечественных клинических рекомендациях говорится о максимально раннем после операции начале ходьбы с полной нагрузкой на оперированную конечность. В свете этих рекомендаций решение проблемы ортопедических осложнений у пациентов старших возрастных групп должно вестись в рамках полной нагрузки на систему «кость – металлофиксатор» [Atzman и др., 2021; Baer и др., 2019; Gleich и др., 2021].

Авторы многих исследований, сравнивающих результаты применения фиксаторов различной конструкции, сообщают лишь о разрешении пациентам ходить с полной нагрузкой на оперированную ногу с указанием «по переносимости» (по-английски «as tolerated»), однако часто публикации не содержат информации о реальной величине и динамике этой нагрузки. В изученной литературе нет четких критериев, позволяющих на предоперационном этапе оценить способность ходить без опоры на оперированную ногу после остеосинтеза. Существует ряд исследований, в которых рассматривается измерение величины нагрузки на оперированную ногу при ходьбе с помощью датчиков, однако эти исследования основываются на небольших выборках пациентов и содержат противоречивые результаты. В одних публикациях сообщается, что пациенты не могут ходить без нагрузки, даже если им рекомендуют её ограничивать, в других – пациенты после цефаломедуллярного остеосинтеза по поводу чрезвертельных переломов всегда недогружают ногу, даже если им рекомендуют ходить с полной нагрузкой. Таким образом, неоднозначность рекомендаций по степени опоры на конечность не позволяет сформулировать полноценный алгоритм применения различных способов фиксации и послеоперационной реабилитации [Mittal, Banerjee, 2012; Pfeufer и др., 2019b].

Повышенные нагрузки на начальном этапе консолидации могут стимулировать процессы резорбции в зоне перелома и приводить к появлению между отломками дефекта костной ткани и постепенному уменьшению размеров ПОВК по оси его шейки, однако в литературе не обнаружено оценки этого процесса как осложнения или как физиологические приспособления, также как нет данных, насколько это явление в условиях остеосинтеза может вносить свой вклад в развитие ортопедических осложнений. Стратегия уменьшения ортопедических осложнений путем жесткой фиксации отломков элементами имплантата без возможности изменения их положения может ассоциироваться с большей частотой вторичного смещения отломков и миграции винтов. Динамическую фиксацию фрагментов кости давно использует для лечения замедленной консолидации диафизарных переломов. Идея использовать динамизацию отломков при чрезвертельных переломах привела к разработке динамизируемых цефаломедуллярных штифтов, в конструкции которых заложено скольжение шеечных винтов относительно втулки штифта. Существуют работы, в которых выполнено сравнение результатов применения динамизируемых и статических фиксаторов, но в них не указан характер послеоперационной

нагрузки на конечность и нет акцента на происходящих в проксимально отделе бедренной кости изменениях, так что определить только по клиническим данным, использование каких фиксаторов предпочтительнее, не получается [Kim и др., 2018; Takigawa и др., 2014].

Таким образом, выбор оптимального с биомеханической точки зрения способа фиксации отломков в зависимости от способности пациента следовать реабилитационной программе потенциально мог бы уменьшить риск осложнений и повысить качество лечения, что делает актуальной целью настоящего исследования.

Цель настоящего исследования

Цель настоящего исследования – улучшить результаты лечения пациентов старше 65 лет с чрезвертельными переломами бедренной кости за счет рационального выбора способа фиксации отломков при оперативном лечении.

Задачи исследования

1. Определить с помощью методов математического моделирования изменения, происходящие в системе «бедренная кость – динамизируемый цефаломедулярный штифт» при укорочении оси шейки бедренной кости в условиях полной нагрузки на ногу весом тела.
2. Определить изменения анатомии проксимального отдела бедренной кости после цефаломедулярного остеосинтеза чрезвертельного перелома у пациентов старше 65 лет в условиях полной нагрузки на оперированную конечность.
3. Определить частоту и причины ортопедических осложнений, возникающих при цефаломедулярном остеосинтезе чрезвертельных переломов бедренной кости у пациентов старше 65 лет.
4. Сравнить функциональные результаты применения статической и динамической фиксации отломков бедренной кости у пациентов старше 65 лет с чрезвертельными переломами в условиях полной нагрузки на оперированную конечность.

Научная новизна

1. Впервые с помощью метода конечных элементов показано положительное влияние укорочения оси шейки бедренной кости на механическую стабильность системы «бедренная кость – динамизируемый цефаломедулярный штифт» во время консолидации чрезвертельных переломов при ходьбе с полной нагрузкой на ногу.

2. Впервые выявлены статистически значимо лучшие результаты применения динамической фиксации по сравнению со статической при хирургическом лечении чрезвертельных переломов у пациентов старше 65 лет, которые не способны ограничивать нагрузку на оперированную конечность при ходьбе.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Математически и клинически доказано, что уменьшение оси шейки бедренной кости повышает стабильность системы «бедренная кость – цефаломедуллярный штифт» при консолидации чрезвертельных переломов в условиях полной нагрузки на оперированную ногу при ходьбе.

2. Сформулированы клинические критерии отбора пациентов старше 65 лет с чрезвертельными переломами, у которых применение динамической фиксации отломков приводит к значимому снижению частоты осложнений и улучшению функциональных результатов оперативного лечения по сравнению со статической.

3. Сформулированы рекомендации по технике операции, позволяющие после выполнения динамического остеосинтеза чрезвертельных переломов бедренной кости при полной нагрузке на оперированную ногу уменьшить риск развития варусной деформации в области тазобедренного сустава и предотвратить трансформацию фиксации в статическую.

Методология и методы исследования

В ходе выполнения исследования применена методология системного анализа с использованием следующих методов – математического моделирования, клинического обследования, применение методов инструментального обследования, статистической обработки математических данных. Проспективное клиническое исследование построено на анализе результатов лечения 137 пациентов 65 лет и старше с чрезвертельными переломами бедренной кости. Для изучения характера изменения биомеханических свойств системы «кость – металлофиксатор» в зависимости от положения фрагментов кости и имплантата использовали математическое моделирование – построение математической объёмной модели стабильного чрезвертельного перелома и сбор необходимой биомеханической информации с помощью метода конечных элементов. Для определения наличия или отсутствия математических закономерностей между изучаемыми величинами были использованы методы математической статистики.

Положения, выносимые на защиту

1. Развитие ортопедических осложнений после проведения цефаломедуллярного остеосинтеза по поводу чрезвертельных переломов бедренной кости у пациентов старше 65 лет связано с разрушением системы «бедренная кость – металлофиксатор» из-за несоответствия между её механическими свойствами и прилагаемыми к ней циклическими нагрузками при ходьбе с полной опорой на оперированную ногу.

2. После динамической фиксации отломков бедренной кости при чрезвертельных переломах у пациентов старше 65 лет полная нагрузка на оперированную ногу приводит к уменьшению шеечно-диафизарного угла и длины оси шейки бедренной кости, что

сопровождается снижением деформационных изменений в системе под нагрузкой, в связи с чем понижается риск ортопедических осложнений и улучшаются функциональные результаты лечения.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность данных определяется количеством пациентов (137 человек), достаточным для реализации цели и задач диссертационного исследования. Для математической обработки числовых данных применены современные методы статистического анализа результатов. Выводы и практические результаты исследования аргументированы, логически вытекают из результатов исследования и соответствуют положениям, выносимым на защиту.

Основные результаты настоящей работы представлены в виде докладов и тезисов на Научной конференции молодых учёных по медицинской биологии ФГБУ ФНКЦ ФХМ ФМБА (19 – 20 апреля 2016 г.), III Всероссийской научно-практической конференции хирургов ФМБА России (2018 г.), VI Всероссийской научно-практической конференции «Приоровские чтения» (3–4 декабря 2018 г.) и обсуждены на совместном заседании кафедры общей и специализированной хирургии факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, отделения травматологии и ортопедии и отдела травматологии, ортопедии и реабилитологии МНОЦ МГУ имени М.В. Ломоносова и Центра травматологии и ортопедии государственного бюджетного учреждения здравоохранения ГБУЗ «ГКБ им. С.С. Юдина» ДЗМ (2022 г.).

Личный вклад автора

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, определении его цели и задач, разработке дизайна исследования. Автор исследовал причины развития осложнений после оперативного лечения чрезвертельных переломов у пациентов старше 65 лет, самостоятельно обработал результаты математического моделирования системы «кость-металлофиксатор» в условиях уменьшения размеров шейки бедренной кости и дал им клиническую оценку. Лично выполнил 107 операций (78%) у пациентов исследования, осуществлял послеоперационное ведение и динамическое наблюдение пациентов в течение 12 месяцев после операции, проводил сбор информации на всех этапах лечения. Автор лично провел анализ полученной информации, оценил степень значимости полученных различий с помощью программ статистической обработки результатов, сформулировал выводы и практические рекомендации. Результаты исследования оформлены автором в виде диссертации лично.

Внедрение полученных данных

Разработанная тактика лечения пациентов старших возрастных групп с чрезвертельными переломами бедренной кости внедрена в работу отделения травматологии и ортопедии обособленного подразделения Медицинского научно-образовательного центра Московского

государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва). Результаты исследования используются при обучении студентов, ординаторов и аспирантов на кафедре общей и специализированной хирургии МГУ им. М.В. Ломоносова.

Публикация результатов исследования

По результатам исследования автором опубликовано 8 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science, Scopus, PubMed, MathSciNet, zbMATE, Chemical Abstrac, Springer; 4 – иные публикации по материалам исследования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия, область исследований п. 4 – Экспериментальная и клиническая разработка и совершенствование методов лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы, их последствий, а также предупреждение, диагностика и лечение возможных осложнений.

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 143 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, библиографического списка, содержащего 97 отечественных и 147 иностранных источников, 2 приложений. Диссертация иллюстрирована 48 рисунками, 15 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Методология исследования

В клиническом исследовании были выделены 3 этапа (Рисунок 1). На первом этапе был осуществлён отбор пациентов в соответствии со следующими критериями включения в исследование по клиническим и рентгенологическим данным:

- 1) наличие чрезвертельного перелома бедренной кости (по классификации АО/ОТА 31A1-3);
- 2) низкоэнергетический механизм травмы;
- 3) возраст старше 65 лет;
- 4) способность к самостоятельному передвижению до травмы;
- 5) наличие состояний, ограничивающих использование верхних конечностей для разгрузки нижних при ходьбе с дополнительной опорой.

К таким состояниям относили:

- a. несросшиеся или консолидированные с развитием деформаций и снижением функции конечности переломы костей верхней конечности (оценка функции по шкале DASH более 50 баллов);
- b. ожирение 2 степени на фоне сенильной саркопении (снижение силы мышц плечевого пояса и верхних конечностей);

- с. последствия острого нарушения мозгового кровообращения в виде монопареза мышц верхней конечности или гемипареза;
- д. выраженные когнитивные нарушения (оценка по шкале MMSE менее 20 баллов).

На втором этапе исследования проводили распределение пациентов по группам и выполняли хирургическое лечение – закрытую репозицию, остеосинтез фрагментов бедренной кости с использованием цефаломедуллярных штифтов. Все пациенты были разделены случайным образом на две группы: группу «динамической фиксации» (далее – группа ДФ) и «статической фиксации» (далее – группа СФ). В группу ДФ было включено 72 пациента, для лечения которых применяли фиксатор Targon PF (Aesculap B.Braun, Германия).

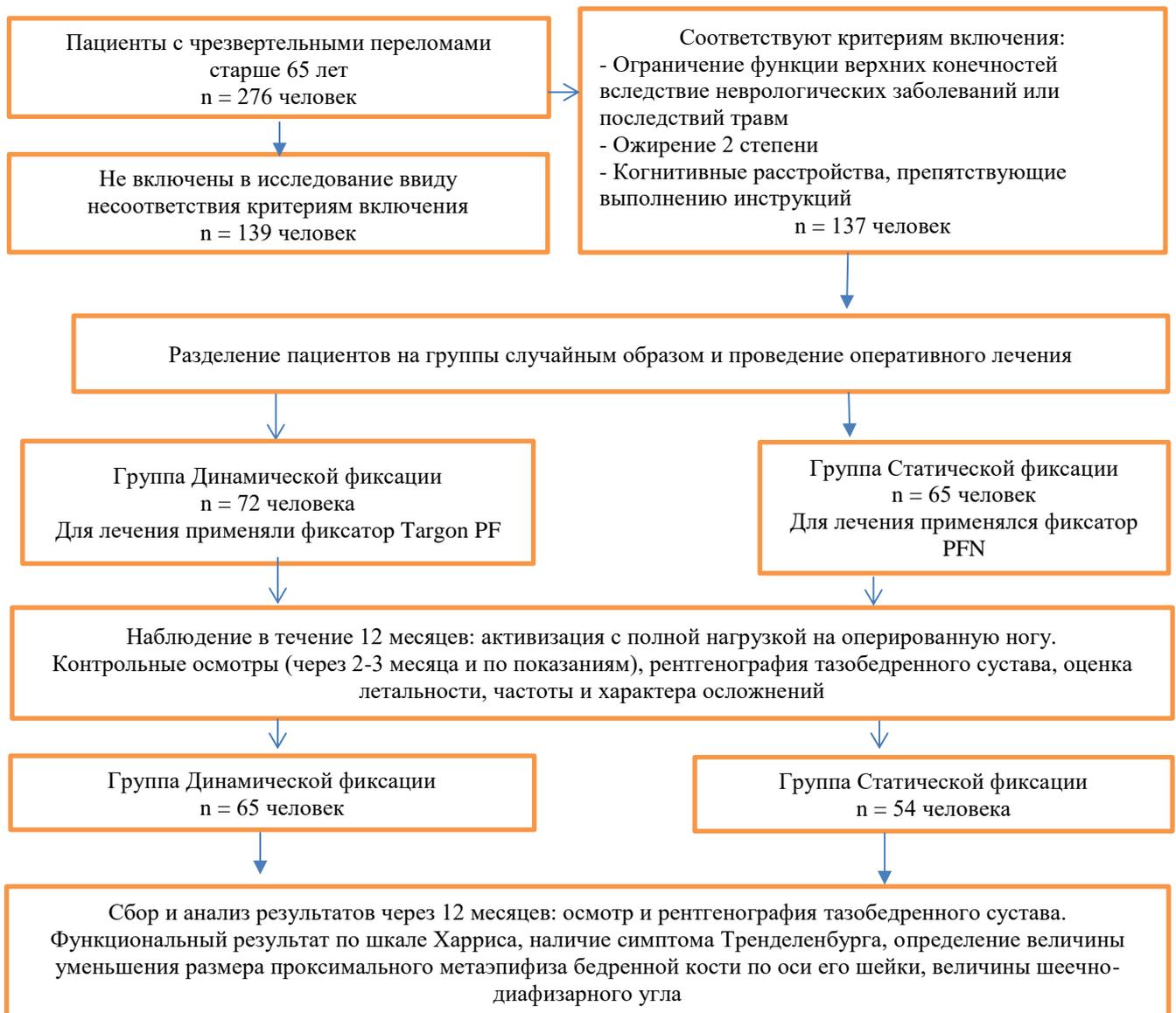


Рисунок 1 – Дизайн клинического исследования

В группу СФ были включены остальные 65 пациентов, в лечении которых применяли стержень PFN (Synthes DePuy, США). Оперативное пособие проводили в условиях общей анестезии после репозиции на ортопедическом столе по стандартной методике, рекомендованной

производителем. В ранние сроки после операции все пациенты начинали ходить при помощи дополнительной внешней опоры (ходунки) с полной нагрузкой на оперированную конечность. На третьем этапе исследования проводили сбор данных в течение 12 месяцев в соответствии с дизайном исследования (Рисунок 1).

Для определения биомеханических изменений, происходящих в бедренной кости после фиксации динамическим цефаломедулярным фиксатором при уменьшении размеров ее проксимального отдела по оси шейки, было проведено конечно-элементное моделирование системы «кость – металлофиксатор» в условиях нагрузки весом тела, этапы которого представлены на Рисунке 2.

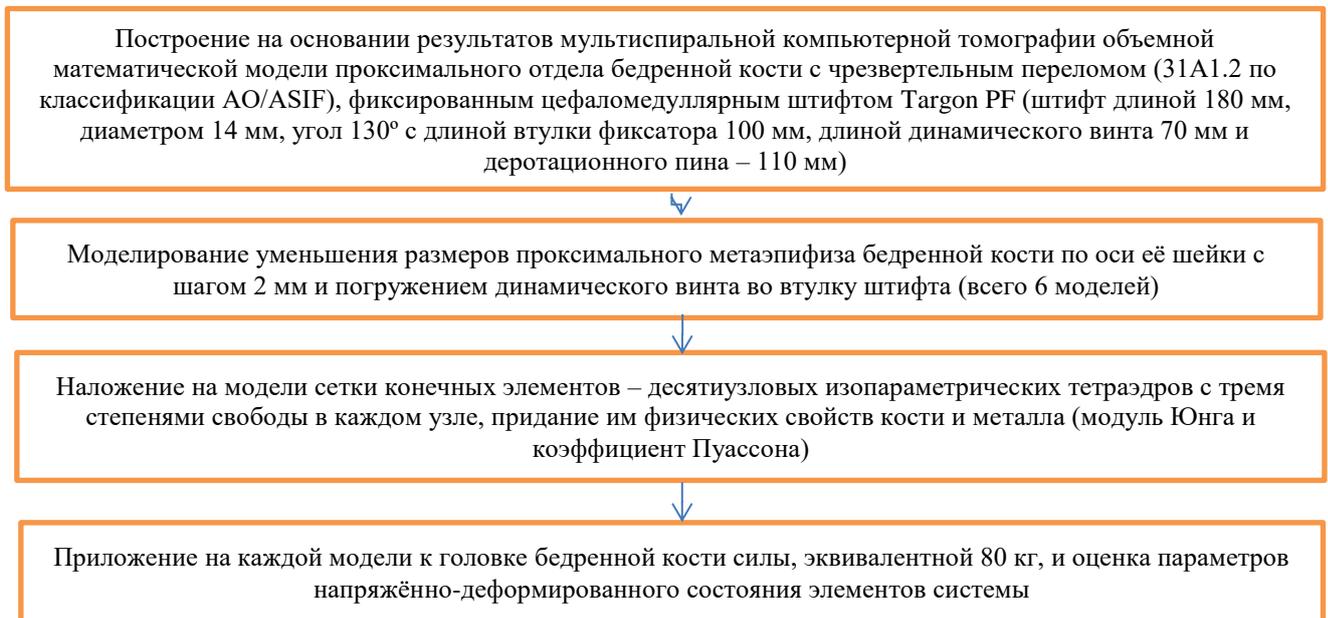


Рисунок 2 – Алгоритм проведения математического моделирования

Первым этапом в сотрудничестве с инженерами ООО «Хекса» в модуле Abaqus/CAE программного комплекса Abaqus (версия 6.10 2010 г., Dassault Systèmes Simulia Corp., Франция) провели построение математической объемной модели стабильного чрезвертельного перелома (31A1.2 по классификации АО/ASIF). Фрагменты кости в условиях анатомической репозиции были виртуально зафиксированы титановым цефаломедулярным фиксатором Targon PF.

За исходное положение в модели было принято состояние точной анатомической репозиции перелома в условиях фиксации цефаломедулярным фиксатором, при этом динамический винт по отношению ко втулке был расположен с зазором 10 мм. В процессе моделирования рассматривали 5 вариантов погружения динамического винта во втулку фиксатора от исходного – на 2, 4, 6, 8 и 10 мм относительно втулки винта, что соответствовало различной степени уменьшения размеров проксимального метаэпифиза бедренной кости по оси её шейки.

Вторым этапом провели преобразование объёмной модели в конечно-элементную систему, для чего при помощи программных комплексов была наложена сетка с использованием в качестве конечных элементов десятиузловых изопараметрических тетраэдров с тремя степенями свободы в каждом узле. Конечным элементам с помощью программы были заданы физико-механические свойства, характерные для титана, губчатой и кортикальной костной ткани.

На третьем этапе к головке бедренной кости виртуально прикладывали силу, эквивалентную весу тела 80 кг, в направлении, соответствующем нагрузке на головку при опоре на конечность во время ходьбы. Для каждой модели вычисляли амплитуду смещения элементов системы под нагрузкой, давление между отломками и распределение напряжений по Мизесу в области металлофиксатора и кости.

Для статистической обработки данных использовали программы Statistica 10.0 (StatSoft, США) и Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Для определения статистической значимости использовались соответствующие параметрические и непараметрические критерии. Во всей работе уровень значимости, при котором нулевую гипотезу об отсутствии различий отвергали, был равен $p = 0,05$.

Результаты исследования

Для определения теоретических основ изменений, выявленных в процессе клинического исследования, было проведено математическое моделирование системы «бедренная кость – динамизируемый металлофиксатор». В процессе проведения математического моделирования была построена серия конечно-элементных математических моделей системы «кость – металлофиксатор» (Рисунок 3) при постепенном уменьшении размеров проксимального метаэпифиза бедренной кости по оси шейки и был проведён анализ динамики изменений биомеханических параметров в ответ на воздействие одинаковой нагрузки, эквивалентной весу тела человека.

При уменьшении размера проксимального отдела бедренной кости по оси шейки на 10 мм давление между отломками бедренной кости при нагрузке на систему весом тела постепенно уменьшается от 10,9 до 9,1 МПа. Также при этом уменьшается амплитуда деформационных смещений элементов системы с максимальными значениями от 2,2 мм до 1,9 мм и максимальное значение напряжений в металлических имплантах с 272 до 226,3 МПа.

Распределение в пространстве деформационных напряжений по Мизесу оценивали отдельно для проксимального и дистального отломков, а также для металлофиксатора. Параллельно уменьшению размера проксимального метаэпифиза бедренной кости и погружению шеечного винта во втулку штифта происходит сокращение объёма зон повышенных деформационных напряжений по Мизесу в области медиальной поверхности шейки и на границе головки и шейки, а также снижение напряжений в межвертельной зоне до абсолютных значений

менее 9 МПа. Также при уменьшении размера проксимального метаэпифиза по оси шейки выявлено снижение деформационных напряжений в области латеральной стенки вертельной области и большого вертела (со значениями от 6,3 до 2 МПа). При уменьшении размеров проксимального метаэпифиза и погружении динамического винта во втулку фиксатора на 10 мм отмечается снижение напряжений в области проксимальных (до 226 МПа) и – особенно – дистальных винтов (менее 68 МПа).

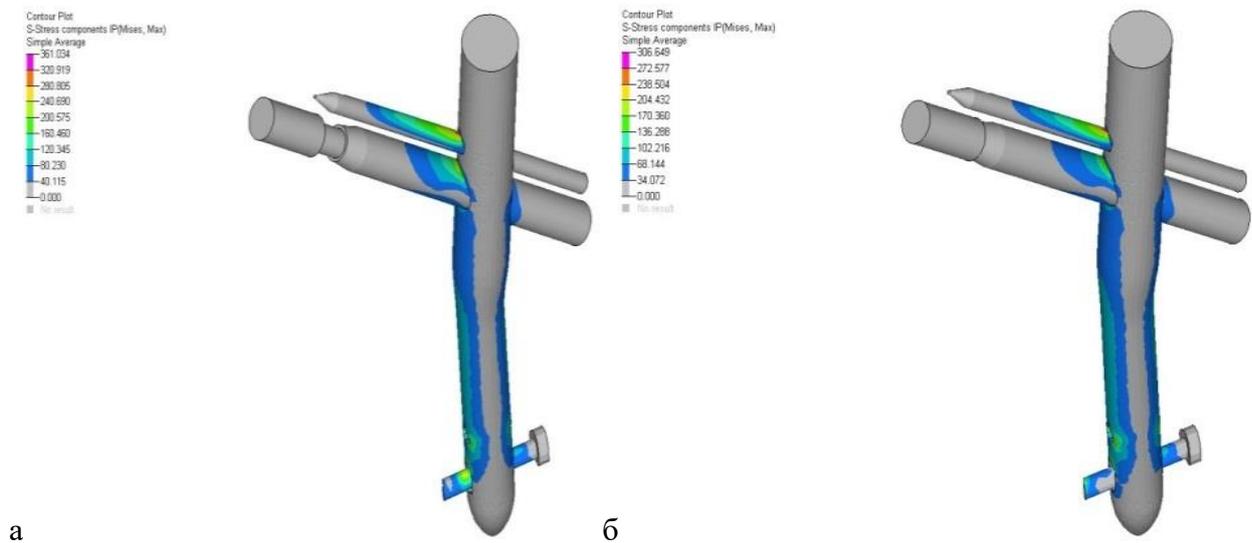


Рисунок 3 – Распределение максимальных напряжений по Мизесу в системе металлофиксаторов в исходном положении (а) и при погружении динамического винта на 10 мм (б), слева сверху – шкала напряжений по Мизесу, МПа (целая и дробная части чисел разделены точкой, дробная часть округлена до третьего знака после запятой)

Сводные данные результатов математического моделирования представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты вычисления механических параметров системы «кость – металлофиксатор» при нагрузке весом тела в зависимости от величины уменьшения размера ПОБК по оси шейки

Погружение динамического винта во втулку фиксатора, мм	0 (исходное положение)	2	4	6	8	10 (полное погружение)
Амплитуда смещения элементов системы под нагрузкой, мм	2,2	2,13	2,07	2	1,91	1,88
Максимальное давление между отломками в зоне перелома, МПа	10,9	10,6	10,4	10	9,5	9,1
Максимальные напряжения в металлических имплантатах, МПа	272	261,4	250,5	237,8	228,2	226,3

По результатам вычисления коэффициента корреляции была выявлена прямая линейная зависимость между степенью уменьшения размера проксимального метаэпифиза бедренной

кости по оси её шейки и изменением вычисленных параметров (коэффициент ранговой корреляции Спирмена $r = 0,99$, $p < 0,05$).

При анализе напряжённо-деформированного состояния системы «кость – металлофиксатор» ни в костной ткани, ни в элементах импланта не было зафиксировано значений напряжения по Мизесу, соответствующих критическому уровню, при котором следовало бы ожидать разрушение объектов.

В клиническое исследование было включено 137 пациентов. Средний возраст на момент включения составил $76,4 \pm 7,8$ лет. Среди пациентов преобладали женщины (66,4%). Наиболее часто встречались переломы типа А2 (53%), 28,5% приходилось на переломы типа А1, реже всего наблюдались переломы типа А3 (18,5% случаев). Сформированные группы оказались однородными как по демографическим показателям, так и по основным параметрам лечения, что делает сравнение этих групп по результатам лечения релевантным задачами исследования.

Общая летальность в течение первого года после операции составила 12,4% (17 человек). Группы были сопоставимы по уровню общей, госпитальной и амбулаторной летальности (χ^2 -тест; соответственно, $p = 0,77$, $p = 0,06$ и $p = 0,92$).

Среди 117 пациентов, результаты лечения которых были оценены через 1 год после операции, женщины составили 68,4% (80 человек), мужчины – 37 человек (31,6%). Средний возраст пациентов составил у женщин $77,6 \pm 0,8$ года (диапазон от 65 до 97 лет), у мужчин – $73,0 \pm 1,0$ года (диапазон от 65 до 87 года). В указанных группах также не наблюдали статистически значимых различий по возрасту и полу (для пола: χ^2 -тест, $p = 0,97$; для возраста: t-критерий, $p = 0,63$).

У всех пациентов была произведена оценка функционального результата лечения по шкале Харриса. В группе ДФ были выявлены статистически значимо лучшие функциональные результаты по шкале Харриса по сравнению с группой СФ – соответственно, $69,5 \pm 18,2$ и $61,4 \pm 19,6$ баллов (t-критерий Стьюдента составил 2,294, $p = 0,02$). О схожих функциональных результатах лечения чрезвычайных переломов у пациентов старше 65 лет сообщают многие авторы [Tian Z., 2022; Nherera L., 2018; Song Q.C., 2022; Zhang H., 2017; Zhang S., 2013].

Статистически значимых различий в распределении пациентов по градациям функционального результата лечения (отличный, хороший, удовлетворительный, неудовлетворительный) между группами не выявлено (χ^2 -тест, $p = 0,30$), однако доля пациентов с хорошими и отличными результатами в группе ДФ выше, а доля пациентов с неудовлетворительными результатами – ниже (Рисунок 4).

В группе ДФ уменьшение размера проксимального метаэпифиза бедренной кости по оси шейки составило в среднем $6,0 \pm 2,4$ мм, а в группе СФ – $4,1 \pm 1,7$ мм (различия статистически значимы, t-критерий, $p < 0,05$) (Рисунок 5).

Результаты измерения шеечно-диафизарного угла бедренной кости на рентгенограммах через 1 год после операции представлены на Рисунке 6. По этому показателю в группе ДФ отмечены статистически значимо меньшие значения по сравнению с группой СФ (соответственно, $125 \pm 3,7^\circ$ и $129 \pm 2,3^\circ$, t-критерий, $p < 0,05$).

Частота неортопедических неинфекционных осложнений на госпитальном этапе составила 23,4% (32 случая из 137). Статистически значимых различий в распределении осложнений этой категории между группами не выявлено (χ^2 -тест, $p = 0,78$). Наиболее частым осложнением в послеоперационном периоде было пароксизмальное нарушение ритма по типу фибрилляции предсердий.

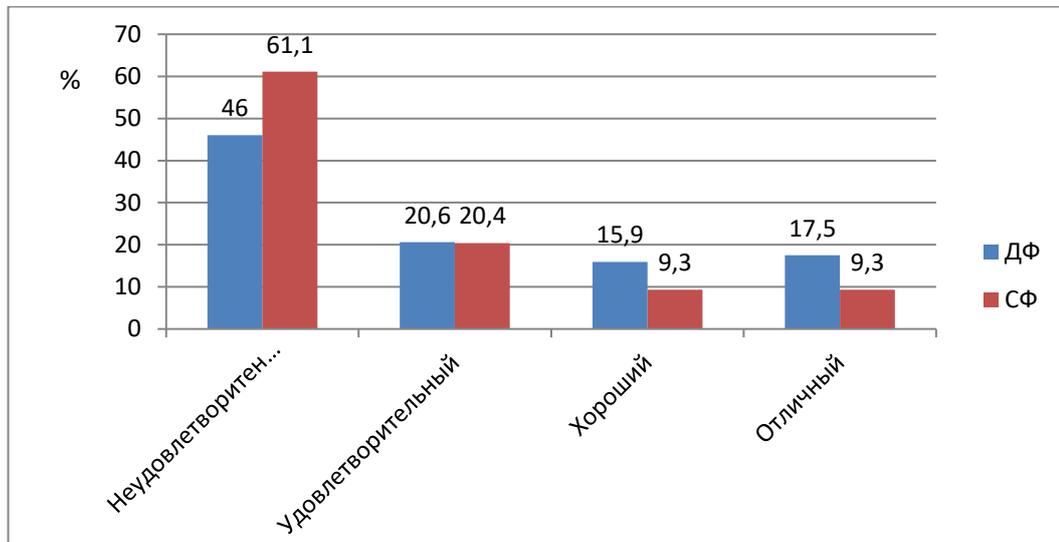


Рисунок 4 – Распределение пациентов в группах исследования по функциональным результатам (в процентах от численности каждой группы через 12 месяцев после операции)
Градация результатов: отличный – 90-100 баллов, хороший – 80-89 баллов, удовлетворительный – 70-79 баллов, неудовлетворительный – менее 70 баллов

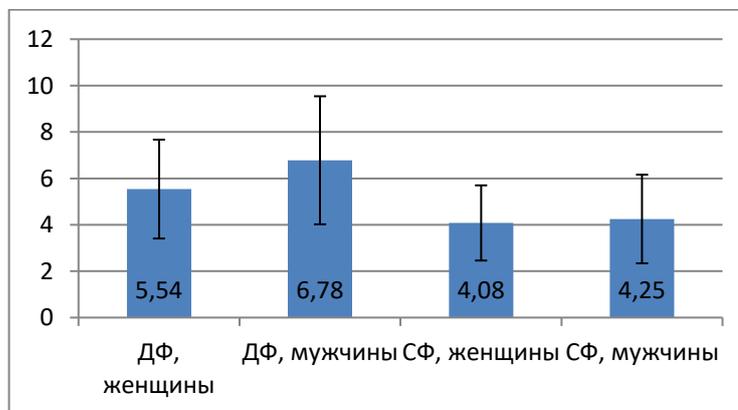


Рисунок 5 – Распределение величины уменьшения размера ПОБК по оси ШБК через 1 год после операции по группам исследования, мм

Инфекционные осложнения в области операции были выявлены у трёх пациентов, что

составило 2,2%. Значимой разницы между группами по уровню инфекционных осложнений зафиксировано не было (χ^2 -тест, $p = 0,66$). Пациенты с инфекционными осложнениями ввиду специфики консолидации перелома на фоне инфекции были исключены из исследования.

Общая частота ортопедических осложнений составила 19,7% (23 наблюдения), при этом частота осложнений в группе ДФ составила 9,7% (7 наблюдений), а в группе СФ – 24,6% (16 наблюдений). Структура осложнений представлена на Рисунке 7. Частота ортопедических осложнений в группе ДФ была статистически значимо ниже по сравнению с группой СФ (χ^2 -тест, $p = 0,04$).

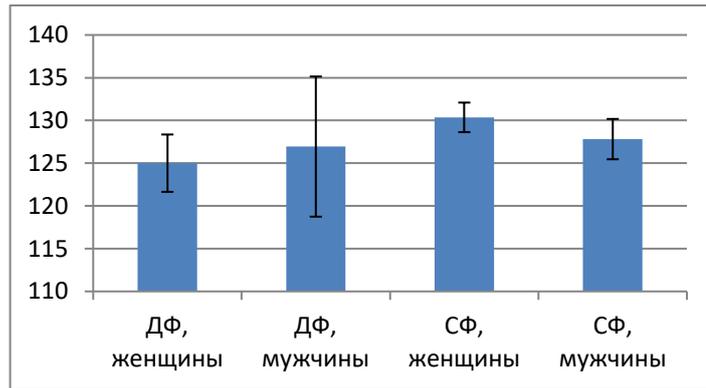


Рисунок 6 – Распределение величины шеечно-диафизарного угла бедренной кости через 1 год после операции по группам исследования, градусы

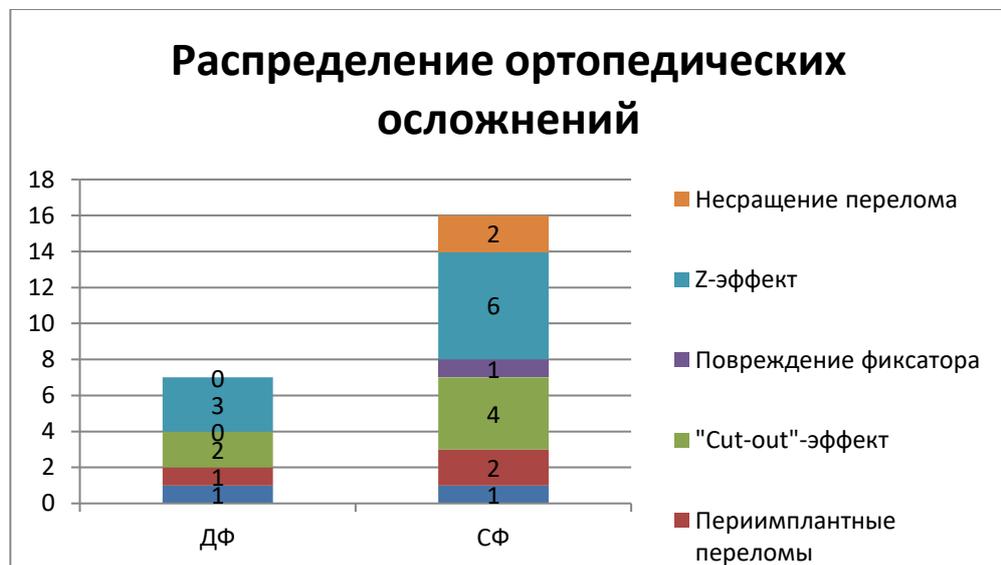


Рисунок 7 – Распределение ортопедических осложнений в группах исследования

Среди ортопедических осложнений обнаружено три диафизарных перимплантных перелома бедренной кости (два в группе СФ и один в группе ДФ), возникших в результате низкоэнергетического воздействия в сроки от трёх до семи месяцев после операции. Эти осложнения потребовали во всех случаях проведения ревизионных вмешательств – удаления имплантатов и установки интрамедуллярного штифта большей длины. У одного пациентов из

группы СФ был зафиксирован перелом дистальных блокирующих винтов в сроки двух месяцев после операции, при этом отмечено замедленное сращение перелома и длительный болевой синдром, ограничивающий движения в тазобедренном суставе. Развитие аваскулярного некроза отмечено у двух пациентов уже после достижения консолидации перелома в сроки до 12 месяцев после операции. Несращение перелома к 12 месяцам после операции выявлено у двоих пациентов из группы СФ.

Явления «cut-out» и Z-эффект в области шейки и головки бедренной кости были обнаружены у 15 пациентов. Все эти осложнения зафиксированы в первые три месяца после выполнения остеосинтеза.

Во всех наблюдениях «cut-out»-эффекта была отмечена протрузия винтов через задневерхние отделы головки и шейки бедренной кости с формированием варусной деформации проксимального отдела бедренной кости. У всех этих больных потребовалось удаление металлофиксаторов для купирования болевого синдрома и профилактики повреждения мягких тканей при движениях. В трех наблюдениях выполнено биполярное эндопротезирование тазобедренного сустава, в остальных случаях на фоне выраженных соматических и когнитивных нарушений после удаления имплантов проводили мероприятия консервативной терапии (анальгетики, коррекции длины конечностей ортопедической обувью, лечебная физкультура).

Z-эффект выражался в миграции винтов и потере стабильности, что приводило к потере репозиции и формированию варусной деформации. Во всех случаях выполняли удаление мигрировавших винтов, при отсутствии противопоказаний выполняли реостеосинтез или эндопротезирование тазобедренного сустава.

Обсуждение результатов исследования

В процессе клинического исследования было выполнено сравнение результатов применения динамической и статической фиксации отломков у пациентов с чрезвертельными переломами старше 65 лет. В исследовании акцент сделан на группе пациентов, которые заведомо не могли ограничивать нагрузку на ногу. Задачей исследования было формирование однородных групп, различающихся только по одному признаку – типу фиксации.

При сравнении результатов было выявлено статистически значимо меньшее количество ортопедических осложнений в группе ДФ по сравнению с СФ. Учитывая однородность групп по другим параметрам, эти различия можно связать с биомеханическими различиями в поведении систем «бедренная кость – металлофиксатор» в условиях динамической и статической фиксации, что позволяет рассматривать динамизацию зоны перелома как явление, обеспечивающее более физиологическое протекание процесса консолидации перелома в условиях нагрузки весом тела.

Несмотря на то, что имплантация цефаломедуллярного фиксатора стабилизирует отломки до наступления консолидации перелома, полностью считать такую систему механически

тождественной неповреждённой кости нельзя, поскольку возникающие взаимодействия между фрагментами кости и фиксатором приводят к снижению её прочности и появлению зон концентрации напряжений на границе компонентов с различными механическими параметрами.

Передача нагрузки веса тела с таза через головку на диафиз и мыщелки бедренной кости в условиях фиксации перелома металлическим имплантатом идёт через кость и через фиксатор. Как показало математическое моделирование, часть нагрузки передаётся напрямую с проксимального отломка бедренной кости на дистальный через плоскость перелома, при этом возникает давление между отломками. Другая часть нагрузки передаётся с проксимального отломка на шеечные винты, далее – на штифт в месте контакта с винтами в области проксимальных отверстий, затем – на диафиз в местах прямого контакта кортикальной кости со штифтом и с дистальными блокирующими винтами. В зоне контакта проксимального отломка и шеечных винтов возникают дополнительные напряжения, поскольку нагрузка весом тела стремится к смещению этого отломка кзади и в варусное положение по отношению к диафизу, чему препятствует сила упругости, возникающая в шеечных винтах, из-за чего возникает повышенное давление и напряжение в зоне контакта винтов и штифта.

В процессе заживления любого перелома отмечается резорбция матрикса кости на первом этапе консолидации. Степень выраженности этого процесса различна и зависит от исходного состояния костной ткани и её кровоснабжения. При переломах проксимального отмечается целый комплекс неблагоприятных факторов – достаточно большой объем губчатой кости, компрессирующийся в момент перелома из-за остеопороза, и действие повышенных механических нагрузок даже в отсутствии опоры на конечность. В случае жёсткой фиксации элементами имплантата положение отломков меняться не может, хотя процессы резорбции продолжаются. Это приводит к формированию дефекта костной ткани, к потере контакта фрагментов кости и к передаче всей нагрузки веса тела с проксимального отломка бедренной кости на дистальный через элементы фиксатора. Формируются зоны повышенного давления в месте контакта шеечных винтов с костью в области головки и шейки и в области контакта дистальных винтов с кортикальной костью диафиза бедренной кости. Также формируются зоны повышенного напряжения в области контакта шеечных винтов с отверстиями проксимального конца штифта, в области контакта стержня с дистальными винтами и в кортикальной кости в области дистального конца штифта, куда локально передаётся практически вся энергия веса тела. При однократных критических повышениях значений этих величин, превышающих прочность указанных зон кости и штифта, или в случае циклических воздействиях и накоплении усталостных микротрещин возможно разрушение этих структур, что клинически проявляется в виде различных ортопедических осложнений.

Таким образом, для предотвращения подобных осложнений необходимо обеспечить

постоянный контакт отломков и передачу части нагрузки через зону перелома до достижения консолидации. Одним из способов реализации этого пути является постоянное сближение фрагментов проксимального метаэпифиза бедренной кости, т.е. динамизация перелома путём контролируемого погружения шеечного винта во втулку фиксатора.

Полученные экспериментальные данные могут свидетельствовать об отсутствии неблагоприятных биомеханических явлений при динамизации чрезвертельных переломов. В процессе уменьшения размеров проксимального метаэпифиза бедренной кости по оси шейки стабильность системы прямо пропорционально возрастает, что должно уменьшать риск разрушения компонентов системы. Уменьшение амплитуды смещений отломков можно рассматривать как повышение стабильности системы, поскольку избыточная подвижность нарушает васкуляризацию и созревание костной ткани в зоне перелома.

Другой стороной процесса динамизации отломков является изменение топографо-анатомических соотношений в области проксимального отдела бедра. В группе ДФ отмечено более выраженное уменьшение размера проксимального метаэпифиза по оси шейки и величины шеечно-диафизарного угла по сравнению с группой СФ ($6,0 \pm 2,4$ мм против $4,1 \pm 1,7$ мм и $125 \pm 3,7^\circ$ против $129 \pm 2,3^\circ$ соответственно) через один год после операции. Эти данные подтверждают наличие процессов резорбции костной ткани в зоне перелома и тот факт, что при отсутствии какого-либо противодействия со стороны элементов имплантата этот процесс протекает более интенсивно и приводит в итоге к потере большего объёма костной ткани.

При клиническом исследовании также выявлено, что при динамической фиксации отломков величина шеечно-диафизарного угла уменьшается более выраженно, чем при статической, и чаще наблюдается варусное положение шейки и головки бедренной кости после достижения консолидации. Причиной этого может быть выявленная по результатам математического моделирования перегрузка в области медиальной части нижней поверхности шейки бедренной кости на границе с вертельной областью, что может предопределять большую резорбцию костной ткани.

Клиническим проявлением этих различий в топографо-анатомических изменениях проксимального отдела бедренной кости можно рассматривать большую частоту развития симптома Тренделенбурга у пациентов группы ДФ. Однако не было обнаружено значимой корреляции между уменьшением топографии проксимального отдела бедра с одной стороны и функциональными результатами лечения с другой, поскольку уменьшение длины шейки бедренной кости компенсируется одновременным уменьшением шеечно-диафизарного угла. В итоге это позволяет избежать значительного изменения условий работы мышц, прикрепляющихся в области тазобедренного сустава. Именно поэтому, несмотря на повышение частоты встречаемости симптома Тренделенбурга в группе ДФ, выраженных функциональных

нарушений функции оперированной конечности (за исключением хромоты) выявлено не было. Незначительная разница в длине ног компенсируется ортопедической обувью и не оказывает на функциональный результат такого отрицательного действия, как развитие повторных переломов или миграции элементов фиксатора. Именно поэтому резорбцию костной ткани в области перелома можно рассматривать не как осложнение, приводящее к вторичному смещению отломков, а как вариант адаптации процесса репаративной костной регенерации к специфическим анатомо-биомеханическим условиям проксимального отдела бедра.

Для уменьшения негативных последствий изменения топографо-анатомических соотношений в проксимальном метаэпифизе бедренной кости по результатам исследования могут быть рекомендованы следующие модификации оперативной техники. Выявленное среднее уменьшение размера проксимального отдела бедра по оси шейки на $6,0 \pm 2,4$ мм делает целесообразным установку винта и втулки при имплантации у пациентов этой категории таким образом, чтобы было не менее 9 мм запаса для последующего погружения динамического винта, иначе фиксация может стать статической ещё до завершения процессов резорбции и консолидации, а преимущества динамической фиксации утрачиваются. Учитывая значимое уменьшение шеечно-диафизарного угла в процессе консолидации перелома при динамической фиксации фрагментов чрезвертельного перелома (в среднем, $5,7^\circ$), кажется целесообразным изначально проводить репозицию с гиперкоррекцией шеечно-диафизарного угла (до 135°) для профилактики развития варусной деформации после завершения процесса консолидации перелома.

Суммарно полученные клинические и экспериментальные данные подтверждают, что динамическая фиксация отломков при остеосинтезе чрезвертельных переломов бедренной кости абсолютно показана пациентам старше 65 лет в условиях ранней полной нагрузки на оперированную ногу. По итогам исследования выявлены четкие предоперационные критерии отбора пациентов, у которых применение динамической фиксации отломков при остеосинтезе по поводу чрезвертельных переломов сопровождается статистически значимо лучшими функциональными результатами и меньшей частотой осложнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование было нацелено на решение конкретной проблемы лечения чрезвертельных переломов – снижение частоты ортопедических осложнений после выполнения остеосинтеза фрагментов бедренной кости цефаломедуллярными штифтами путём внедрения дифференцированного биомеханически обоснованного подхода к выбору типа фиксации.

Для выявления клинических и анатомических закономерностей процесса консолидации отломков бедренной кости были сформированы группы из пациентов с чрезвертельными переломами, которые с высокой степенью вероятности не были способны ограничивать нагрузку

на оперированную конечность. Этим пациентам был проведён остеосинтез фрагментов бедренной кости с применением статической и динамической фиксации, после чего проведена клиническая и рентгенологическая оценка результатов через 1 год после операции. Для изучения биомеханических закономерностей проведено математическое моделирование системы «бедренная кость – металлофиксатор» в условиях нагрузки весом тела и этапным уменьшением размера проксимального метаэпифиза по оси шейки.

Меньшее количество ортопедических осложнений у пациентов группы ДФ можно объяснить механизмом динамизации, позволяющим поддерживать постоянный контакт между костными отломками, несмотря на процессы резорбции кости в области соприкосновения фрагментов бедренной кости. Это позволяет передавать часть нагрузок непосредственно по кости и не допускать перегрузки элементов имплантата и контактных зон на границе имплантата и кости (шеечные винты и костная ткань головки и шейки бедренной кости; дистальный конец штифта и дистальные блокирующие винты и диафиза).

Другим следствием динамизации фрагментов бедренной кости является изменение топографо-анатомических соотношений проксимального отдела бедра – уменьшение размера проксимального метаэпифиза бедренной кости по оси его шейки и уменьшение шеечно-диафизарного угла в процессе консолидации перелома, в части наблюдений приводящий к функциональной недостаточности мышц-абдукторов и появлению симптома Тренделенбурга. Однако значимого влияния на функциональные результаты лечения эти изменения не оказали, кроме того, по итогам исследования сформированы рекомендации по возможной профилактике негативных последствий этих явлений (использование ортопедических стелек в обуви).

Важным преимуществом настоящего исследования является акцент на послеоперационной реабилитации – ходьба с полной нагрузкой на оперированную ногу у всех пациентов. Вероятно, при исследовании свойств различных типов фиксации попадание в группы исследований пациентов, которые по-разному нагружали ногу после операции, могло затруднять выявление преимуществ и недостатков каждого из них из-за отсутствия учёта этого важного фактора.

Однако в настоящем исследовании не учитывался другой очень важный фактор, который может оказывать влияние на биомеханические параметры системы «бедренная кость – имплантат» – остеопороз, который в каждом случае индивидуально определял механические свойства кости и предельные биомеханические параметры её разрушения. В некоторых случаях эти изменения могут достигать такой степени, при которой, независимо от типа фиксации, отмечается разрушение кости в зоне контакта с металлическими элементами имплантата на фоне полной нагрузки на конечность.

Дальнейшего изучения заслуживает методика точной оценки возможности ограничивать нагрузку на ногу после остеосинтеза ещё в предоперационном периоде, поскольку это позволит

выбирать тактику хирургического лечения с учётом индивидуальных особенностей пациента. В настоящем исследовании подтверждён факт отсутствия этой способности у пациентов с неправильно сросшимися и несросшимися переломами костей верхних конечностей (оценка функции по шкале DASH более 50 баллов), последствиями острого нарушения мозгового кровообращения и другими неврологическими заболеваниями (снижение мышечной силы верхних конечностей до 4 баллов и менее), ожирением 2 степени (индекс массы тела 35 – 40 кг/м²), когнитивными расстройствами (оценка ментального статуса по шкале MMSE менее 20 баллов), то есть с теми заболеваниями и состояниями, которые были критериями включения в исследование. Однако поиск всего круга возможных показаний к применению динамической фиксации может стать темой отдельного исследования.

Возможными направлениями дальнейших исследований может стать изучение поведения различных типов фиксаторов в группе пациентов, которые в процессе реабилитации могут ограничивать нагрузку весом тела на ногу и поиск возможных преимуществ и недостатков каждого типа фиксации. В подобных условиях статическая фиксация, возможно, будет иметь преимущества в виде сохранения топографо-анатомических соотношений проксимального метаэпифиза бедренной кости после достижения консолидации перелома.

Важным показателем, позволяющим предсказывать риск развития ортопедических осложнений, может быть определение состояния костной ткани в области проксимального отдела бедра непосредственно перед операцией. Таким образом, разработка методики определения состояния костной ткани и оценка связанного с этим показателем уровня осложнений при применении фиксаторов различной конструкции при различных типах переломов и реабилитационных стратегиях могло бы помочь значительно снизить уровень ортопедических осложнений путём дальнейшего повышения персонализации выбора лечебной тактики.

ВЫВОДЫ

1. Методом математического моделирования показано, что в условиях нагрузки весом тела человека в процессе уменьшения размера проксимального отдела бедренной кости по оси шейки на 10 мм давление между фрагментами кости снижается по сравнению с исходным на 16,5%, а напряжение в отломках и элементах фиксатора на 17%; при этом амплитуда смещений фрагментов кости становится меньше на 14,5%, что достоверно характеризует повышение механической стабильности системы «кость – металлофиксатор» и обуславливает снижение риска её разрушения.

2. При ходьбе с полной нагрузкой после динамической цефаломедуллярной фиксации чрезвертельного перелома у пациентов старше 65 лет среднее значение уменьшения размера проксимального метаэпифиза бедренной кости по оси её шейки было больше, чем при статической фиксации, на 1,9 мм, а величина шеечно-диафизарного угла – меньше на 4°.

3. Несоответствие между механическими свойствами системы «бедренная кость – металлофиксатор» и прилагаемыми к ней нагрузками при активизации пациентов старше 65 лет с полной опорой на оперированную ногу приводит к развитию ортопедических осложнений в 9,7% случаев после динамической цефаломедулярной фиксации и в 24,6 % случаев – при статической фиксации, то есть при динамической фиксации частота ортопедических осложнений снизилась в 2,5 раза.

4. При цефаломедулярном остеосинтезе по поводу чрезвертельных переломов бедренной кости у пациентов старше 65 лет использование динамической фиксации отломков по сравнению со статической в условиях полной нагрузки на оперированную ногу весом тела приводит к улучшению функциональных результатов лечения по шкале Харриса в среднем на 8,1 балла.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Пациенты старше 65 лет, ввиду повышенного риска гипостатических осложнений, после операции остеосинтеза чрезвертельного перелома нуждаются в ранней вертикализации и начале ходьбы.

2. Пациенты, неспособные ограничивать нагрузку на оперированную ногу при ходьбе, составляют группу высокого риска развития ортопедических осложнений при проведении цефаломедулярного остеосинтеза чрезвертельных переломов бедренной кости, что обуславливает необходимость особого подхода при определении для них хирургической тактики.

3. При неспособности пациентов соблюдать дозированную нагрузку на оперированную конечность методом выбора при чрезвертельных переломах бедренной кости должен являться цефаломедулярный остеосинтез с динамической фиксацией, так как при этом создаются максимально безопасные условия для раннего начала ходьбы с полной опорой на оперированную конечность и использованием дополнительных приспособлений для уменьшения риска падений.

4. Выполняя цефаломедулярный остеосинтез с динамической фиксацией костных отломков по поводу чрезвертельного перелома бедренной кости, во время репозиции следует добиваться вальгусной гиперкоррекции шеечно-диафизарного угла до 135° для сохранения к концу процесса консолидации величины этого угла, близкого к исходному, а при имплантации металлофиксатора стремиться к тому, чтобы исходное погружение шеечного винта во втулку штифта позволяло дальнейшую динамизацию на глубину не менее 9 мм.

5. Во всех случаях укорочения оперированной конечности более 2 см у пациентов с чрезвертельными переломами после цефаломедулярного остеосинтеза следует использовать стельки-вкладыши в обуви при ходьбе даже при использовании дополнительной опоры для устранения разницы в длине ног, что способствует улучшению функциональных результатов и уменьшению хромоты.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Щербаков, И.М. Преимущества динамического остеосинтеза при лечении чрезвертельных переломов бедренной кости / **И.М. Щербаков**, Д.А. Зюзин, И.А. Кузькин // Виноградовские чтения. Актуальные проблемы хирургии, травматологии, анестезиологии и реаниматологии. Материалы конференции молодых учёных. Российский университет дружбы народов. – М., 2016. – С.19-20.
2. Щербаков, И.М. Моделирование свойств динамического фиксатора в процессе консолидации переломов бедренной кости / **И.М. Щербаков**, И.А. Кузькин // Сборник трудов конференции молодых учёных по медицинской биологии ФГБУ ФНКЦ физико-химической медицины ФМБА России. – М., 2016. – С. 160-161.
3. Виртуально-экспериментальное обоснование динамического остеосинтеза при лечении переломов проксимального отдела бедренной кости / В.Э. Дубров, И.А. Кузькин, **И.М. Щербаков** [и др.] // **Бюллетень экспериментальной биологии и медицины**. – 2017. – Т. 163. – № 2. – С.261–264. [**Scopus**]
4. Щербаков, И.М. Влияние выбора фиксатора при чрезвертельных переломах бедренной кости у пожилых пациентов на исходы лечения / **И.М. Щербаков**, Д.А. Зюзин, К.А. Сапрыкина // Сборник работ Всероссийской научно-практической конференции «Приоровские чтения» и конференции молодых учёных под редакцией профессора Очкуренко А.А., Москва, 3–4 декабря 2018 года. – М., 2018– С.148–149.
5. Применение метода конечных элементов при моделировании биологических систем в травматологии и ортопедии / В.Э. Дубров, Д.А. Зюзин, И.А. Кузькин, **И.М. Щербаков** [и др.] // Сборник работ Всероссийской научно-практической конференции «Приоровские чтения» и конференции молодых учёных под редакцией профессора Очкуренко А.А., Москва, 3–4 декабря 2018 года. – М., 2018– С. 45–46.
6. Применение метода конечных элементов при моделировании биологических систем в травматологии и ортопедии / В.Э. Дубров, Д.А. Зюзин, И.А. Кузькин, **И.М. Щербаков** [и др.] // **Российский журнал биомеханики**. – 2019. – Т. 23. – №1. – С. 140–152. [**Scopus**]
7. Математическое моделирование состояния системы «кость-металлофиксатор» в процессе лечения чрезвертельных переломов бедренной кости / В.Э. Дубров, **И.М. Щербаков**, К.А. Сапрыкина [и др.] // **Травматология и ортопедия России**. – 2019. – Т. 25. – №1. – С. 113–121. [**Web of Science**].
8. Лечение чрезвертельных переломов у пожилых пациентов – насколько важна динамическая фиксация? / **И.М. Щербаков**, В.Э. Дубров, А.С. Шкода [и др.] // **Гений ортопедии**. – 2021. – Т. 27. – №5. – С. 502–507. [**Scopus**]

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ПОБК – проксимальный отдел бедренной кости

ДФ – динамическая фиксация

СФ – статическая фиксация

МПа – мегапаскаль