

НАО «Медицинский университет Астаны»

УПК:616.718.72-001.513-089.23

На правах рукописи

ЖАНАСПАЕВ ТИМУР МАРАТОВИЧ

Совершенствование лечения чрезсуставного многооскольчатого
импрессионного перелома пяточной кости устройством для
интраоперационной репозиции

Диссертация на присуждение степени доктора философии PhD

8D10102– Медицина

Научный руководитель
доктор медицинских наук
М.Т. Абильмажинов

Зарубежный научный консультант
Доктор медицинских наук,
профессор А.В. Бондаренко

Республика Казахстан
Астана 2026

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Перелом пяточной кости является наиболее распространенным травматическим повреждением задней части стопы и может привести к тяжелой инвалидности с социальными и экономическими последствиями [1]. Частота их встречаемости колеблется от 11,5 до 13,5 случаев на 100 000 населения в год и составляет от 2% до 5,1% от общего числа переломов костей [2–5]. Среди переломов пяточной кости внутрисуставные повреждения встречаются в 75% случаев и нередко сопровождаются значительным смещением костных фрагментов [6–9].

Внутрисуставные импрессионные переломы характеризуются вдавлением задней суставной фасетки в тело пяточной кости, снижением ее высоты, увеличением ширины и укорочением тела, а также формированием варусной или вальгусной деформацией. Указанные изменения приводят к уменьшению угла Белера и увеличению угла Гиссана, что отражает нарушение анатомической конфигурации заднего отдела стопы. Отсутствие полноценной репозиции приводит к формированию продольного плоскостопия, подтаранного артроза, таранно-большеберцового и малоберцово-пяточного импиджмент синдрома, снижению опороспособности стопы и хроническому болевому синдрому, что существенно ухудшает качество жизни пациентов и влияет на их трудоспособность [7, 10–14].

Анатомическая сложность подтаранного сустава, имеющего вогнутую форму в горизонтальной и выпуклую в сагиттальной плоскости, значительно затрудняет интраоперационную репозицию и объективную оценку её адекватности. Даже при использовании расширенного латерального доступа (ELA) хирург имеет ограниченную визуализацию суставной поверхности. При миниинвазивном доступе через sinus tarsi (STA) риск недорепозиции задней суставной фасетки ещё выше [15–18]. По данным литературы, после рентген-контроля с интраоперационной оценкой методом 3D визуализации O-arm дугой у 35–47% пациентов сохраняется остаточное смещение фрагментов [19–22], что в 29–42% случаев приводит к развитию посттравматического артроза подтаранного сустава [5, 13, 23, 24].

Тактика лечения внутрисуставного импрессионного перелома пяточной кости определяется тяжестью повреждения, оцениваемого по классификации R. Sanders [23]. При переломах II–III типа достигнуты удовлетворительные результаты при использовании чрескожных или миниинвазивных методов репозиции и фиксации [13, 25–34].

Однако лечение наиболее тяжелых многооскольчатых импрессионных внутрисуставных переломов пяточной кости типа Sanders IV остается дискуссионным. Одни исследователи рекомендуют первичный подтаранный

артродез [35–37], другие используют открытую репозицию и внутреннюю фиксацию ORIF [38–39]. Несмотря на сопоставимые функциональные результаты в отдельных исследованиях [40], артродез неизбежно приводит к анкилозу подтаранного сустава и ограничению движений тогда, как при анатомической репозиции и стабильной фиксации возможно сохранение функции сустава и получение более высоких показателей по шкале AOFAS [38–39].

Достижение анатомической репозиции задней суставной фасетки и восстановление пространственной конфигурации пяточной кости остается ключевым фактором улучшения отдаленных результатов лечения.

Восстановление конфигурации пяточной кости в целом достигается наилучшим образом за счет интраоперационной дистракции с использованием аппаратов внешней фиксации и механизма лигаментотаксиса [41]. Однако применяемые в настоящее время устройства обеспечивают дистракцию преимущественно вдоль одной оси – либо оси голени, либо оси пяточной кости, что ограничивает возможности полноценного восстановления анатомии.

В литературе отсутствуют данные о применении интраоперационного устройства, которое способно обеспечить одновременно контролируемую дистракцию по оси голени и оси пяточной кости, что могло бы способствовать более эффективному восстановлению конфигурации кости за счёт равномерного лигаментотаксиса по всему периметру. Кроме того, необходимость использования расширенного латерального доступа при установке пластин с угловой стабильностью сопровождается высокой частотой раневых осложнений (до 30–37%), что обуславливает необходимость совершенствования как техники репозиции, так и алгоритма ведения послеоперационной раны.

Таким образом, проблема выбора оптимальной хирургической тактики при многофрагментарных импрессионных переломах пяточной кости типа Sanders IV остается нерешенной задачей. Совершенствование методов интраоперационной репозиции с использованием модернизированного устройства внешней фиксации, обеспечивающего многоосевую дистракцию и более точное восстановление анатомии пяточной кости, является актуальной задачей современной травматологии и отвечает потребностям практического здравоохранения Республики Казахстан.

Цель исследования

Повышение эффективности хирургического лечения пациентов с чрезсуставным многооскольчатым импрессионным переломом пяточной кости путем модернизации устройства внешней фиксации для интраоперационной репозиции костных отломков.

Задачи исследования:

1. Оценить напряженно-деформированное состояние устройства для интраоперационной репозиции костных отломков при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах пяточной кости, модернизированного репозиционным узлом с помощью математической модели *аппарат – голень – стопа*.

2. Провести рентгенологическую оценку восстановления анатомических параметров пяточной кости при применении устройства для интраоперационной репозиции костных отломков при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах пяточной кости, модернизированного репозиционным узлом в условиях двухвекторной дистракции.

3. Оценить клинико-функциональные результаты лечения пациентов с чрезсуставными многооскольчатыми импрессионными переломами пяточной кости после использования способа двухвекторной дистракции с применением устройства, модернизированного репозиционным узлом.

Научная новизна:

1. Разработан новый способ двухвекторной дистракции с применением устройства, модернизированного репозиционным узлом, для интраоперационной репозиции костных отломков при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах пяточной кости.

2. Впервые в сравнительном исследовании установлена клинико-функциональная и рентгенологическая эффективность применения двухвекторной интраоперационной репозиции с использованием устройства, модернизированного репозиционным узлом, при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах типа Sanders IV.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. По результатам математического моделирования системы *аппарат – голень – стопа* установлено, что устройство для интраоперационной репозиции костных отломков, модернизированное репозиционным узлом, обладает достаточным запасом прочности (до 720 МПа) и обеспечивает двухвекторную интраоперационную дистракцию вдоль оси голени и оси пяточной кости, что создаёт условия для восстановления пространственной конфигурации пяточной кости при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах типа Sanders IV.

2. Применение двухвекторной интраоперационной дистракции с использованием устройства, модернизированного репозиционным узлом, обеспечивает восстановление трёхмерной конфигурации пяточной кости, что выражается в достоверном уменьшении её ширины, увеличении высоты и длины ($p < 0,001$), тем самым подтверждая эффективность анатомической коррекции при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах типа Sanders IV.

3. Применение предложенного устройства с двухвекторной интраоперационной дистракцией по сравнению с традиционными методами репозиции достоверно снижает частоту послеоперационных осложнений (с

43,3% до 5,9%) и увеличивает долю отличных и хороших функциональных исходов по шкале AOFAS (с 55,9% до 88,2%) ($p < 0,001$).

Практическая значимость

1. Разработанный способ двухвекторной дистракции с применением устройства, модернизированного репозиционным узлом, позволяет восстановить анатомическую конфигурацию пяточной кости и суставной фасетки при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах типа Sanders IV.

2. Применение предложенного способа двухвекторной дистракции с применением устройства, модернизированного репозиционным узлом, снижает частоту послеоперационных осложнений, тем самым улучшая отдалённые функциональные результаты лечения.

3. Внедрение разработанной технологии в практику травматологических отделений позволяет стандартизировать хирургическую тактику при наиболее тяжёлых внутрисуставных переломах пяточной кости и повысить предсказуемость исходов лечения и сократить потребность в повторных реконструктивных вмешательствах.

Внедрение результатов исследования

При выполнении работы по репозиции костных отломков при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах пяточной кости путем двухвекторной дистракции предложенным устройством была внедрена в клиническую практику в травматологических отделениях МГБ №1 г. Астаны, ННЦТО им. академика Н.Д. Батпенова, оформлены 2 акта внедрения.

Личный вклад докторанта:

Под руководством научных консультантов проведен анализ и статистическая обработка клинических и инструментальных данных пациентов с переломами пяточной кости типа Sanders IV, находящихся на стационарном лечении в ГКП на ПХВ «МГБ №1» г. Астана, РГП на ПХВ «ННЦТО имени академика Н.Д. Батпенова», многопрофильной больнице им. профессора Х.Ж. Макажанова г. Караганды.

На период сбора клинического материала принимал участие в лечении пациентов в ГКП на ПХВ «МГБ №1». В теоретической части диссертационного исследования проведен клинический анализ научной литературы по существующим методам репозиции и лечения переломов пяточной кости. Произведен набор пациентов для участия в данном исследовании. Весь материал систематизирован, документирован и оформлен в виде диссертации самостоятельно.

Являюсь соавтором способа двухвекторной дистракции для интраоперационной репозиции костных отломков при переломе пяточной кости.

Апробация работы

Результаты научно-исследовательской работы обсуждались на:

– Международной научно-практической конференции «Горизонты травматологии и ортопедии» на конкурсе молодых ученых (Туркестан, 2022 г.).

– IV Съезде травматологов-ортопедов Республики Казахстан (Астана, 28-29 августа 2024 г.).

Публикации по теме диссертации

По материалам диссертационного исследования опубликовано 4 научные работы, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК:

1. Абилямажинов М.Т., Жанаспаев Т.М., Жанаспаева Г.А. Эволюция метода репозиции внутрисуставного компрессионного перелома пяточной кости // Science & Healthcare. – 2022. – Vol. 24, № 5. - P. 188-195. DOI:10.34689/SH.2022.24.5.023

2. Жанаспаев Т.М., Мухаметжанов Х.М., Жанаспаева Г.А. Нерешенные аспекты и достижения лечения внутрисуставных переломов пяточной кости // ВЕСТНИК КАЗНМУ. – 2022. - Т. 4, № 63. - Стр. 122-140. DOI:10.53065/m5784-36160791-h

3. Жанаспаев А.М., Жанаспаев Т.М., Горбунов Б.Н., Бондаренко А.В. Биомеханика репонирующего воздействия, оцененная методом конечных элементов и рентгенологические результаты двухвекторной дистракции аппаратом внешней фиксации при оперативном лечении перелома пяточной кости типа Sanders IV // Traumatology and Orthopaedics of Kazakhstan. – 2024. – Vol. 3, № 74. – P. 17-25. DOI:10.52889/1684-9280-2024-3-74-17-25

1 публикация в международном научном издании, входящей в информационную базу Scopus:

1. Zhanaspayev T.M., Zhanspayeva G.A., Abilmazhinov M.T. Evaluation of the result of articular facet reduction and intraoperative distraction for sanders type calcaneal fracture in polytraumatized patients // Pol Merkur Lek. – 2024. – Vol. 52, №5. - P. 512-521.

DOI:10.36740/Merkur202405106

1 патент выданный патент Евразийской патентной организацией:

1. Патент на изобретение №037877 от 31.05.2021 г. Жанаспаев А.М., Жанаспаев М.А., Жанаспаев Т.М. Устройство для интраоперационной репозиции внутрисуставного компрессионного перелома пяточной кости. Подана заявка на патент на изобретение «Способ двухвекторной дистракции для интраоперационной репозиции костных отломков при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах пяточной кости»

Объем и структура диссертации

Диссертация написана на русском языке, изложена на 92 страницах текста компьютерного набора и состоит из введения, обзора литературных источников, 4 разделов, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованных источников из 120 наименований (14 на русском, 106

на иностранных языках) и приложений. Диссертация включает 18 таблиц, иллюстрирована 43 рисунками.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования:

В исследовании приняли участие 59 пациентов с 68 внутрисуставными многооскольчатыми импрессионными переломами пяточной кости типа Sanders IV. Оперативное лечение осуществлялось в травматологических отделениях ННЦТО им. академика Н.Д. Батпенова, многопрофильной первой городской больницы №1 г. Астаны, в многопрофильной больнице им. проф. Х.Ж.Макажанова, г. Караганда с 2016 г. по 2023 г.

Нами были сформированы 2 группы – основная и контрольная группы. В основной группе выполнено восстановление трехмерной структуры пяточной кости интраоперационно двухвекторной дистракцией предложенным модернизированным устройством внешней фиксации, открытая репозиция вдавленной суставной фасетки и остеосинтез пластиной с угловой стабильностью. В контрольной группе репозиция производилась путем одновекторной аксиальной тракции по Н. Westhues хирургическими инструментами и аппаратами внешней фиксации и остеосинтез пластиной, винтами, спицами.

Сопоставление пациентов обеих групп не показало статически значимой разницы по возрасту, механизму травмы, тяжести деформации пяточной кости. Оценка лечения пациентов основной и контрольной групп проводилась согласно жалобам, общему состоянию пациента, заживлению раны, рентгенографическим данным, функциональный исход лечения оценивался по шкале AOFAS и показателям интенсивности боли по VAS. Оценка результатов лечения проводилась через 3, 6, 12 и 24 месяца после оперативного вмешательства.

Сравнение двух исследуемых групп проводилось по следующим критериям:

- восстановление угла Белера;
- восстановление угла Гиссана;
- восстановление угла наклона задней суставной фасетки;
- восстановление ширины, длины и высоты пяточной кости;
- функциональный исход лечение по шкале AOFAS для заднего отдела стопы и голеностопного сустава;
- интенсивность боли по VAS;
- развитие послеоперационных осложнений.

Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

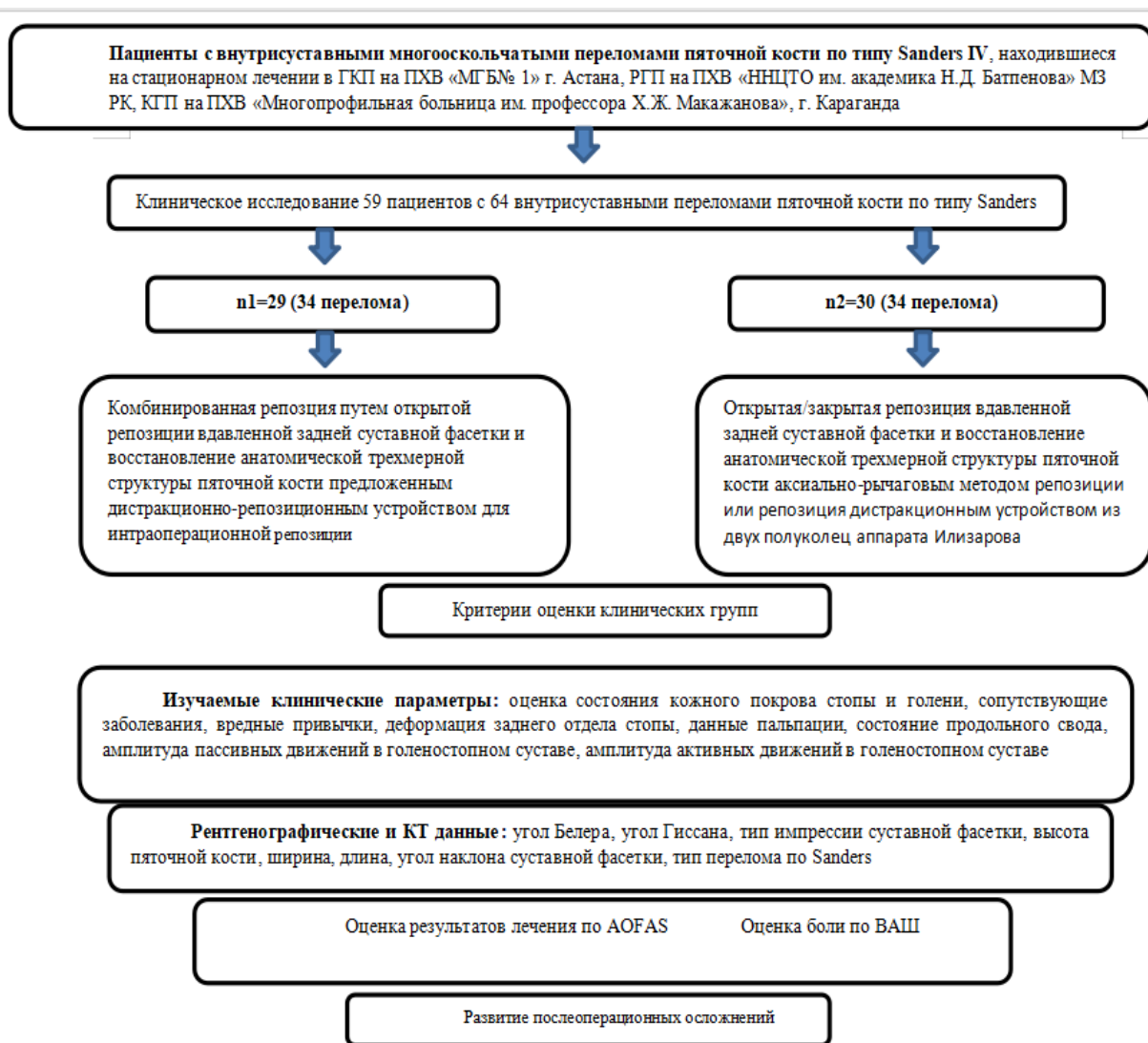


Рисунок 1 – дизайн исследования

Методы статистической обработки полученных данных

Статистическая обработка данных исследования выполнена с использованием программного пакета Statistica. Расчёт объёма выборки выполнен с применением программы G*Power 3.1 (рисунок 15). При уровне значимости $\alpha = 0,05$, мощности исследования $1-\beta = 0,80$ и ожидаемом среднем эффекте (Cohen's $d = 0,8$) минимально необходимый объём выборки составил не менее 26 пациентов в каждой группе. Фактический объём выборки (29 пациентов в основной группе и 30 пациентов в контрольной группе) является достаточным для проведения статистически корректного сравнительного анализа.

Перед выбором методов анализа характер распределения количественных переменных оценивали с использованием критерия Шапиро-Уилка. В связи с асимметричным распределением большинства клинических и рентген-антропометрических показателей, а также наличием крайних значений для статистического анализа преимущественно применялись непараметрические методы.

Описательная статистика количественных клинических и рентгенологических показателей представлена в виде медианы и межквартильного интервала – Me [Q1; Q3]. Под термином «диапазон» понимался размах значений от минимального до максимального (Min–Max).

Для оценки различий между количественными показателями в двух независимых клинических группах применялся U-критерий Манна-Уитни. Анализ внутригрупповой динамики показателей при повторных измерениях (до операции, после операции и при заключительном осмотре) выполняли с использованием критерия Фридмана, а для попарных сравнений – критерий Вилкоксона.

Для анализа качественных признаков и частоты осложнений использовался точный критерий Фишера. Различия считались статистически значимыми при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и заключение

Диссертационная работа включает биомеханический и клинический этапы. В биомеханической части методом конечных элементов выполнен анализ напряжённо-деформированного состояния системы *устройство – голень – стопа*. Установлено, что при двухвекторной дистракции возникающее напряжение (максимум 665 МПа в области фиксации спиц) не превышает предел прочности конструкции (720 МПа), что подтверждает достаточный запас прочности и надёжность устройства. Виртуальное моделирование показало возможность управляемого перемещения репозиционного узла и восстановления трехмерной структуры пяточной кости за счёт комбинированной дистракции вдоль оси голени и оси пяточной кости.

Клиническая часть исследования основана на анализе результатов лечения 59 пациентов (68 переломов) типа Sanders IV. В основной группе выполнялась репозиция задней суставной фасетки в сочетании с интраоперационной двухвекторной дистракцией разработанным устройством и фиксация пяточной пластиной с угловой стабильностью. В контрольной группе применялись традиционные методы репозиции.

В основной и контрольных группах увеличение угла Беллера составило $37,5^\circ \pm 5,2^\circ$ и $19,4^\circ \pm 5,5^\circ$, соответственно; угол Гиссана – $115,5^\circ \pm 4,8^\circ$ и $104,1^\circ \pm 49,8^\circ$, соответственно; угол наклона задней суставной фасетки – до $54,3^\circ \pm 7,2^\circ$ и $33,9^\circ \pm 19,7^\circ$, соответственно ($p < 0,001$). Восстановление пространственных параметров пяточной кости также было более выраженным в основной группе по сравнению с контрольной: ширина уменьшена до $34,3 \pm 2,5$ мм и $48,3 \pm 8,9$ мм, соответственно ($p < 0,001$); высота увеличена до $45,5 \pm 5,2$ мм и $42,9 \pm 5,7$ мм, соответственно; длина увеличена до $81,7 \pm 5,4$ мм и $80,1 \pm 7,4$ мм, соответственно.

Предложенный метод сопровождался достоверным снижением частоты послеоперационных осложнений по сравнению с традиционными способами лечения. Функциональные результаты лечения по шкале AOFAS в основной группе были статистически значимо выше, а выраженность болевого синдрома по шкале VAS несколько ниже, чем в контрольной группе. Доля «отличных» и «хороших» исходов существенно превысила аналогичный показатель в группе сравнения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что сочетание открытой анатомической репозиции суставной фасетки с интраоперационной двухвекторной дистракцией обеспечивает комплексное восстановление анатомии пяточной кости. Формирование лигаментотаксиса по всему периметру кости создаёт условия для устранения деформации и предотвращения вторичной потери коррекции. Стабильный остеосинтез пяточной пластиной с угловой стабильностью обеспечивает сохранение достигнутого результата и возможность ранней функциональной реабилитации.

Таким образом, результаты проведённого биомеханического моделирования, рентгенологического анализа и клинико-функциональной оценки свидетельствуют о целесообразности и эффективности применения разработанного устройства для интраоперационной двухвекторной дистракции при лечении чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломов пяточной кости типа Sanders IV.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие **выводы**:

1. Разработанный способ двухвекторной дистракции с применением устройства, модернизированного репозиционным узлом при чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломах пяточной кости, обладает достаточным запасом прочности по результатам оценки напряжённо-деформированного состояния: максимальные напряжения в области спиц достигают 665 МПа при пределе прочности конструкции 720 МПа. Конструкция обеспечивает возможность выполнения контролируемой двухвекторной дистракции вдоль оси голени и оси пяточной кости.

2. Рентгенологическая оценка показала статистически значимую разницу коррекции анатомических параметров пяточной кости в основной группе по сравнению с контрольной: угол Белера – 40° [35; 45] и 20° [0; 30], соответственно ($U = 138,5$; $p < 0,001$); угол Гиссана – 116° [113; 120] и 105° [0; 130], соответственно ($U = 367,0$; $p < 0,05$); угол наклона задней суставной фасетки – 55° [50; 60] и 30° [0; 50], соответственно ($U = 153,5$; $p < 0,001$).

3. Сравнительный анализ клинико-функциональной эффективности разработанного способа лечения чрезсуставных многооскольчатых импрессионных переломов пяточной кости в исследуемых группах показал,

что доля пациентов с «отличными» и «хорошими» исходами в основной группе составила 88,2 %, что в 1,6 раз выше по сравнению с контрольной группой (55,9 %) ($p < 0,001$). Частота «удовлетворительных» и «неудовлетворительных» исходов была ниже в основной группе ($p < 0,001$). В основной группе отмечено снижение интенсивности боли в 1,8 раз ($2,2 \pm 1,3$ балла [1; 5]) по сравнению с контрольной ($4 \pm 1,4$ балла [1; 7]). Средний показатель по шкале AOFAS в основной группе достиг $88,5 \pm 5,6$ балла [49; 97], в контрольной – $71,5 \pm 17,9$ балла [20; 92] ($U = 152,5$; $p < 0,001$).

Практические рекомендации

Для повышения результативности интраоперационной репозиции внутрисуставного многооскольчатого импрессионного перелома пяточной кости типа Sanders IV рекомендуется использование предложенного устройства внешней фиксации, который при клиническом применении обеспечил более высокие показатели восстановления угла Белера, Гиссана, наклона задней суставной фасетки, ширины, высоты, длины пяточный кости, чем используемые методы Н. Westhues и аппаратами внешней фиксации

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Leigheb M., Codori F. et al. Current Concepts about Calcaneal Fracture Management: A Review of Metanalysis and Systematic Reviews // Applied Sciences (Basel). – 2023. – Vol. 13, Issue 22. – Art. 12311.
2. Бодня А. И. Лечебная тактика при сочетанной травме заднего отдела стопы // Травма. – 2019. – Т. 20, № 4. – С. 119–124.
3. Naarasalo H., Laine H.J., Mäenpää H., Wretenberg P., Kannus P., Mattila V.M. Epidemiology of calcaneal fractures in Finland // Foot and Ankle Surgery. – 2017. – Vol. 23. – P. 321–324.
4. Симаков А.Ю. Хирургическое лечение внутрисуставных переломов пяточной кости: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.15. – М.: Московский областной научно–исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, 2018. – 24 с.
5. Zhu Y., Li J., Liu S., Chen W., Wang L., Zhang X., Zhang Y. Socioeconomic factors and lifestyles influencing of calcaneal fractures, a national population–based survey in China // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2019. – Vol. 14., Issue 1. – P. 423.
6. Yan H.F., Na H.D., Park J.J., Park C.H. Study on sustentaculum tali fragment constancy in intraarticular calcaneus fracture // Journal of Orthopaedic Trauma. – 2023. – Vol. 37, Issue 11. – P. E422–E427.
7. Cianni L., Vitiello R., Greco T. et al. Predictive factors of poor outcome in Sanders type III and IV calcaneal fractures treated with an open reduction and internal fixation with plate: a medium–term follow–up // Journal of Clinical Medicine. – 2022. – Vol. 11, Issue 19. – Art. 5660.
8. Zhang G., Ding S., Ruan Z. Minimally invasive treatment of calcaneal fractures // Journal of International Medical Research. – 2019. – Vol. 47. – P. 3946–3954.

9. Vosoughi A.R. et al. Different types and epidemiological patterns of calcaneal fractures based on reviewing CT images of 957 fractures // *Foot and Ankle Surgery*. – 2020. – Vol. 28, Issue 1. – P. 88–92.

10. Yang H., Zhang S., Zhong Q., Huai C., Zhu N., Zhan J. Subtalar joint arthroscopic-assisted reduction and cannulated screw fixation versus open reduction and internal fixation for treating displaced intra-articular calcaneal fractures // *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. – 2025. – Vol. 20. – Art. 270.

11. Пахомов И.А. Хирургическая тактика и организация специализированной помощи пациентам с ортопедической патологией стопы и голеностопного сустава: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.01.15. – Новосибирск: Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии, 2012. – 55 с.

12. Gonzalez T.A., Lucas R.C., Miller T.J., Gitajn I.L., Zurakowski D., Kwon J.Y. Posterior facet settling and changes in Bohler's angle in operatively and nonoperatively treated calcaneus fractures // *Foot & Ankle International*. – 2015. – Vol. 36, Issue 11. – P. 1297–1309.

13. Tantavisut S., Phisitkul P., Westerlind B.O., Gao Y., Karam M.D., Marsh J.L. Percutaneous reduction and screw fixation of displaced intra-articular fractures of the calcaneus // *Foot & Ankle International*. – 2017. – Vol. 38, Issue 4. – P. 367–374.

14. Day M.A., Ho M., Dibbern K., Rao K., An Q., Anderson D. D., Marsh J. L. Correlation of 3D joint space width from weightbearing CT with outcomes after intra-articular calcaneal fracture // *Foot and Ankle International*. – 2020. – Vol. 41, Issue 9. – P. 1106–1116.

15. Gwak H.-C., Kim J.-G., Kim J.-H., Roh S.-M. Intraoperative three-dimensional imaging in calcaneal fracture treatment // *Clinics in Orthopedic Surgery*. – 2015. – Vol. 7, Issue 4. – P. 483–489.

16. Nosewicz T.L., Knupp M., Bolliger L. et al. The reliability and validity of radiographic measurements for determining the three-dimensional position of the talus in varus and valgus osteoarthritic ankles // *Skeletal Radiology*. – 2012. – Vol. 41, Issue 12. – P. 1567–1573.

17. Sposeto R. B., Matías-Joannas G., Godoy-Santos A. L. Current concepts in intra-articular calcaneus fractures // *Revista Brasileira de Ortopedia*. – 2025. – Vol. 60, Issue 3. – Article s00451809887.

18. Park C.H., Yoon D.H. Role of subtalar arthroscopy in operative treatment of Sanders type 2 calcaneal fractures using a sinus tarsi approach // *Foot & Ankle International*. – 2018. – Vol. 39, Issue 4. – P. 443–449.

19. Pires R.E., Giordano V., Boni G. et al. Expanding the indications for calcaneal plates beyond foot fractures: a technical trick and case series // *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. – 2021. – Vol. 31, Issue 2. – P. 275–282.

20. Jeyaseelan L., Malagelada F., Parker L., Panagopoulos A., Heidari N., Vris A. Intra-operative 3D dimensional imaging (O-arm) in foot and ankle trauma surgery: report of 2 cases and review of the literature // *The Open Orthopaedics Journal*. – 2019. – Vol. 13, P. 189–197.

21. Neumaier M., Kohring J., Ciufo D., Ketz J.P. Technique and early outcomes for high-energy calcaneus fractures treated with staged external fixation to combined open reduction internal fixation and subtalar arthrodesis // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2023. – Vol. 36, Issue 11. – P. E412–E417.
22. Eckardt H., Lind M. Effect of intraoperative three-dimensional imaging during the reduction and fixation of displaced calcaneal fractures on articular congruence and implant fixation // *Foot & Ankle International*. – 2015. – Vol. 36, Issue 7. – P. 764–773.
23. Sanders R., Vaupel Z.M., Erdogan M., Downes K. Operative treatment of displaced intraarticular calcaneal fractures: long-term (10–20 Years) results in 108 fractures using a prognostic CT classification // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2014. – Vol. 28, Issue 10. – P. 551–563.
24. Buzzzi R., Sermi N., Soviero F., Bianco S., Campanacci D.A. Displaced intra-articular fractures of the calcaneus: ORIF through an extended lateral approach // *Injury*. – 2019. – Vol. 50, Issue 2. – P. 2–7.
25. Gil Monzo E.R., Liew I., Tadikonda P. et al. Optimal posterior screw placement configuration in Sanders 2B calcaneal fractures: a biomechanical study // *Revista Espanola de Cirugia Ortopedica y Traumatologia*. – 2023. – Vol. 67, Issue 2. – P. 144–152.
26. Pastides P.S., Milnes L., Rosenfeld P.F. Percutaneous arthroscopic calcaneal osteosynthesis: a minimally invasive technique for displaced intra-articular calcaneal fractures // *Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2015. – Vol. 54, Issue 5. – P. 798–804.
27. Shi G., Lin Z., Liu W. et al. 3D mapping of intra-articular calcaneal fractures // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13, Issue 1. – Art. 8827.
28. Grun W., Molund M., Nilsen F., Stødle A. H. Results after percutaneous and arthroscopically assisted osteosynthesis of calcaneal fractures // *Foot & Ankle International*. – 2020. – Vol. 41, Issue 6. – P. 689–697.
29. Marouby S., Cellier N., Mares O., Kouyoumdjian P., Coulomb R. Percutaneous arthroscopic calcaneal osteosynthesis for displaced intra-articular calcaneal fractures: systematic review and surgical technique // *Foot and Ankle Surgery*. – 2020. – Vol. 26, Issue 5. – P. 503–508.
30. Clement R.C., Lang P.J., Pettett B.J., Overman R.A., Ostrum R.F., Tennant J.N. Cost and cost-effectiveness analysis of treatment options for Sanders II and III calcaneus fractures in laborers // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2017. – Vol. 31, Issue 6. – P. 299–304.
31. Pitts C.C., Almaguer A., Wilson J.T., Quade J.H., Johnson M.D. Radiographic and postoperative outcomes of plate versus screw constructs in open reduction and internal fixation of calcaneus fractures via the sinus tarsi // *Foot & Ankle International*. – 2019. – Vol. 40, Issue 8. – P. 929–935.
32. Bremer A.K., Kraler L., Frauchiger L., Krause F G., Weber M. Limited open reduction and internal fixation of calcaneal fractures // *Foot & Ankle International*. – 2020. – Vol. 41, Issue 1. – P. 57–62.
33. Dai F., Xu Y.F., Yu Z.H., Liu J.T., Zhang Z.G. Percutaneous prodding reduction and K-wire fixation via sinus tarsi approach versus ORIF for Sanders

Type III calcaneal fractures: a prospective case–controlled trial // *Foot and Ankle Surgery*. – 2022. – Vol. 41, Issue 1. – P. 37–42.

34. Zhou H.C., Yu T., Ren H.Y. et al. Clinical comparison of extensile lateral approach and sinus tarsi approach combined with medial distraction technique for intra–articular calcaneal fractures // *Orthopaedic Surgery*. – 2017. – Vol. 9, Issue 1. – P. 77–85.

35. Giuliani A., Calori S., Singlitico A., Forconi F., Maccauro G., Vitiello R. Primary subtalar arthrodesis in displaced intra–articular calcaneal fracture: a systematic review // *Musculoskeletal Surgery*. – 2025. – Vol. 100. – P. 11–20.

36. Potenza V., Caterini R., Farsetti P., Bisicchia S., Ippolito E. Primary subtalar arthrodesis for the treatment of comminuted intra–articular calcaneal fractures // *Injury*. – 2010. – Vol. 41, № 7. – P. 702–706.

37. Holm J.L., Laxson S.E., Schuberth J.M. Primary subtalar joint arthrodesis for comminuted fractures of the calcaneus // *Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2015. – Vol. 54, № 1. – P. 61–65.

38. Lin J. et al. Comparison of sinus tarsi approach versus extensive lateral approach for displaced intra–articular calcaneal fractures Sanders type IV // *International Orthopaedics*. – 2019. – Vol. 43, № 9. – P. 2141–2149.

39. Akalin Y., Cansabuncu G., Çevik N., Avci Ö., Akinci O., Öztürk A. An evaluation of the results of locked plate osteosynthesis applied without the use of bone graft in Sanders type III and IV intra–articular calcaneus fractures // *International Orthopaedics*. – 2020. – Vol. 44, № 12. – P. 2753–2760.

40. Buckley R., Leighton R., Sanders D., Poon J., Coles C.P., Stephen D. et al. Open reduction and internal fixation compared with ORIF and primary subtalar arthrodesis for the treatment of Sanders type IV calcaneal fractures: a randomized, multicenter trial // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2014. – Vol. 28, № 10. – P. 577–583.

41. Абильмажинов М. Т., Жанаспаев Т. М., Жанаспаева Г. А. Эволюция метода репозиции внутрисуставных импрессионных переломов пяточной кости // *Science & Healthcare*. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 188–195.