

На правах рукописи

Тутуров Александр Олегович

МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫЙ НАКОСТНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ
ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

3.1.8. Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии института хирургии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации"

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой
травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии ИХ
ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова

Минздрава России (Пироговский Университет)

Егиазарян Карен Альбертович

Официальные оппоненты:

Файн Алексей Максимович – доктор медицинских наук, доцент, руководитель отдела травматологии Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»

Калинский Евгений Борисович – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «__»_____ 2025 года в 14:00 на заседании диссертационного совета ПДС 0300.013 при Российском университете дружбы народов имени Патриса Лумумбы по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

С диссертацией можно ознакомиться в ФГАОУ ВО РУДН по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6, в библиотеке РУДН и на сайте организации <https://www.rudn.ru/science/dissovet/dissertacionnye-sovety/pds-0300013>

Автореферат разослан «__»_____ 2025 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
доктор медицинских наук, доцент

Призов Алексей Петрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ И СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Переломы проксимального отдела плечевой кости являются третьей по частоте локализацией перелома [Boesmueller S. 2016] и входят в семь наиболее частых переломов у взрослых [Roux A. 2012, Court-Brown C.M. 2006, Passaretti D. 2017]. Тактика лечения зависит от множества факторов, включая степень смещения перелома, уровень активности пациента, сопутствующие травмы и заболевания, возраст, тип перелома и качество костной ткани [Spross C. 2019]. В литературе описано около 40 различных методов оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости [Дубров В.Э. 2013, Егиазарян К. А. 2018, Каллаев Н.О. 2022, Кесян Г.А. 2021, Лазишвили Г.Д. 2020]. Применение блокируемых пластин до сих пор является «золотым стандартом» остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости. Открытая репозиция и фиксация (ОРИФ), выполняемая при помощи дельтовидно-пекторального доступа, демонстрирует удовлетворительные функциональные результаты при разных видах переломов проксимального отдела плечевой кости [Костив Р.Е. 2022, Falez F. 2016, Roddy E. 2023]. Однако, по результатам рентгенологического исследования исследователи наблюдали осложнения в 36% случаев: смещения винтов в полость сустава, варусное смещение с отклонением $>10^\circ$ и другие. Риск развития этих осложнений значительно выше у пациентов старше 60 лет (57% и 22%, $P = 0,0015$) [Owsley K.C. 2008]. С целью исключения вышеуказанных осложнений был разработан минимально инвазивный способ накостного остеосинтеза (МИНО), выполняемый путем установки пластины с помощью малого разреза и антеролатерального доступа (переднелатеральное расщепление порции дельтовидной мышцы). До сих пор нет ясности в преимуществах минидоступа перед дельтопекторальным доступом в разных клинических ситуациях. Это явилось основополагающим фактором при определении темы представленного исследования.

В настоящее время рассматриваются такие сложные задачи, как развитие упругих деформаций, а также поломки пластины из-за излишней перегрузки в раннем послеоперационном периоде. Современные программные комплексы позволяют проанализировать детально эти проблемы, однако, исследования ограничены моделированием напряжений на пластину только на этапе интраоперационного контроля. Ранний и отдаленный послеоперационные периоды могут демонстрировать разные варианты нагрузок на пластину. Фрагменты могут быть плотно сопоставлены хирургом, а могут быть фиксированы «мостовидно» с диастазом, как например при оскольчатом характере перелома метафизарной зоны.

Научная и практическая значимость изложенных выше неясных и спорных вопросов, касающихся выбора хирургической тактики, изучения биомеханических предпосылок к

развитию осложнений в раннем и отдаленном послеоперационных периодах, обеспечили необходимость проведения нашего диссертационного исследования, а также его задачи и цель.

Цель исследования: улучшение результатов лечения пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости.

Задачи исследования:

1. Оценить результаты хирургического лечения пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости, проведенного с применением накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью при помощи дельтопекторального и минимально инвазивного доступов.

2. На основании физико-математического и конечно-элементного анализа при накостном остеосинтезе переломов проксимального отдела плечевой кости в раннем и отдаленном послеоперационных периодах определить предпосылки к потере репозиции и поломке пластины.

3. На основании клинического и экспериментального исследования создать дифференцированный реабилитационный протокол послеоперационного ведения пациентов.

4. Создать алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости и оценить его эффективность.

Научная новизна исследования:

1. Выделены и обоснованы показания для применения минимально инвазивного доступа при накостном остеосинтезе переломов проксимального отдела плечевой кости.

2. Впервые проведены расчеты физико-математической модели напряжения пластины, а также конечно-элементный анализ в моделях раннего и отдаленного послеоперационных периодов и разных способах накостной фиксации переломов проксимального отдела плечевой кости.

3. Впервые выявлено и обосновано, что раннее активное отведение в плечевом суставе является предпосылкой к потере репозиции и поломке пластины в послеоперационном периоде, что явилось основой для создания дифференцированного реабилитационного протокола, выделяющего клинические ситуации плотного межфрагментарного контакта и мостовидной фиксации перелома.

Теоретическая и практическая значимость результатов:

1. Полученные нами данные о применении метода накостного остеосинтеза, в том числе минимально инвазивного способа, при разных типах переломов проксимального отдела плечевой кости могут быть использованы для усовершенствования травматолого-ортопедической помощи.

2. Алгоритм выбора накостного остеосинтеза, в частности, минимально инвазивного, может быть рекомендован к широкому применению при лечении пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости.

3. Конечно-элементный анализ и физико-математические расчеты позволили обратить внимание на важные этапы оперативного лечения и послеоперационной реабилитации для исключения предпосылок к развитию осложнений и неудовлетворительных результатов лечения.

Методология и методы диссертационного исследования

Проведен анализ литературных данных оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости методом накостного остеосинтеза, в частности при помощи минимально инвазивного доступа. В соответствии с поставленной целью и задачами были разработаны этапы исследования и план их проведения. В основе исследования был комплексный подход к усовершенствованию и клиническому применению алгоритма минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости, а также тщательный и разносторонний анализ рисков развития осложнений в раннем и отдаленном послеоперационном периодах. С целью дополнительного подтверждения полученных результатов применялся метод конечно-элементного анализа и компьютерного моделирования видов переломов и накостного остеосинтеза.

Для статистической проработки данных пациентов, пролеченных методами накостного остеосинтеза, в частности при помощи минимально инвазивного доступа, был проведен анализ с помощью комплекса программ IBM SPSS Statistics 23.0.

Положения, выносимые на защиту

1. Применение минимально инвазивного накостного остеосинтеза при переломах проксимального отдела плечевой кости Neer II и Neer III позволяет снизить вероятность развития варусного смещения и аваскулярного некроза головки плечевой кости.

2. Физико-математический и конечно-элементный анализ накостного остеосинтеза позволяют определить слабые места пластины и смоделировать условия, минимизирующие и/или исключающие высокую нагрузку на эти зоны.

3. Применение дополнительных опорных винтов и монолитная конструкция середины пластины не снижают напряжение на металлофиксатор и не усиливают степень фиксации фрагментов оскольчатого перелома метафизарной зоны проксимального отдела плечевой кости.

Степень достоверности результатов исследования

Подлинность результатов проведенного исследования отражается в необходимом объеме статистического материала, многофакторного анализа клинико-функциональной и

рентгенологической баз пациентов, а также проведении физико-математического и конечно-элементного анализа, задействованного в двух взаимосвязанных разделах работы: клиническом и экспериментальном.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на IV Международном конгрессе «Медицинская реабилитация: научные исследования и клиническая практика» – Санкт-Петербург, 2025 г., на XIII Межрегиональной научно-практической конференции: «Фундаментальные и клинические аспекты современной травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии» – Екатеринбург, 2025 г., на IX Международном Конгрессе АСТАОР (тезисы) – Москва, 2025 г., на Всероссийской конференции Молодых ученых «Вреденовские игры» – Санкт-Петербург, 2025 г., на Всероссийской конференции «Реабилитация и консервативное лечение пациентов с травмами и заболеваниями опорно-двигательной системы» – Санкт-Петербург, 2025 г.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационного исследования внедрены в практику работы травматологических отделений ГБУЗ ГKB №1 им. Н.И. Пирогова ДЗМ, ГБУЗ ГKB им. В.П. Демикова ДЗМ, а также используются на кафедре травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии института хирургии ФGAOY BO PНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет) при обучении клинических ординаторов, аспирантов, травматологов-ортопедов, проходящих усовершенствование по программам дополнительного образования.

Личный вклад автора

Автору принадлежит ведущая роль в выборе направления исследования, определении цели и задач. Автор самостоятельно провел анализ профильной научно-исследовательской литературы. При выполнении этапов работы проводил тщательный отбор пациентов, первичные и контрольные осмотры на всех сроках исследования. Выполнял самостоятельно и ассистировал на оперативных вмешательствах. Автор принимал участие в формировании концепций биомеханических и физико-математических расчетов. Им также был написан текст диссертации и сформулированы основополагающие выводы, по которым были даны практические рекомендации по итогу проведения диссертационного исследования.

Публикации

По результатам диссертационного исследования опубликовано 7 научных работ, в том числе 5 научных статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК/РУДН, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на

соискание ученой степени кандидата наук; 1 статья в МБЦ Scopus; 1 тезис в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

Объем диссертационного исследования

Диссертация изложена на 134 страницах текста, включающего введение, главу обзора литературы, главы собственных исследований, заключение, выводы, практические рекомендации и список использованной литературы, содержащий 118 источников, из которых 29 отечественных и 89 зарубежных авторов. В работе 46 рисунков и 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В ходе проведенного диссертационного исследования было выделено несколько этапов анализа 153 пациентов с переломом проксимального отдела плечевой кости, прооперированных с использованием метода накостного остеосинтеза. На первом этапе было проанализировано 115 пациентов, оперированных в период 2015-2020гг. по поводу перелома проксимального отдела плечевой кости. Показаниями к оперативному лечению являлись:

1. Нестабильные повреждения проксимального отдела плечевой кости. При этом нестабильными считали переломы со смещением диафиза плечевой кости по ширине на 1/3 и более по отношению к головке плечевой кости, а также переломы с многооскольчатым повреждением метафизарной зоны;
2. Переломы с расхождением отломков более чем на 10 мм и угловой деформацией более чем 45 градусов.

Было выделено две группы, одна из которых являлась группой сравнения. В основную группу вошли 73 пациента, которым был выполнен МИНО при помощи антеролатерального доступа «Основная группа 1». В «Группу сравнения 1» вошли 42 пациента, которым была выполнена ОРИФ при помощи дельтопекторального доступа.

Был применен комплексный подход к обследованию пациентов, включающий в себя физикальный осмотр, лабораторные и инструментальные методы исследования. Рентгенологическое обследование проводили через 1-3-6-12 месяцев после выполнения оперативного вмешательства. Контрольным сроком считали 12 месяцев с момента операции, что входило в термин «отдаленные результаты».

В работе было выделено два раздела: клинический (ретроспективный и проспективный) и экспериментальный. В клиническом разделе результаты лечения пациентов оценивали, используя два стандартных опросника Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure (DASH) и Constant shoulder score (CSS). Кроме того, оценивали хирургические рубцы на первом этапе исследования. Оценку проводили по Vancouver Scar Scale (VSS) для обеих групп

исследуемых и рассматривали параметры рубцов по критериям: общая длина и ширина (рисунок 1).

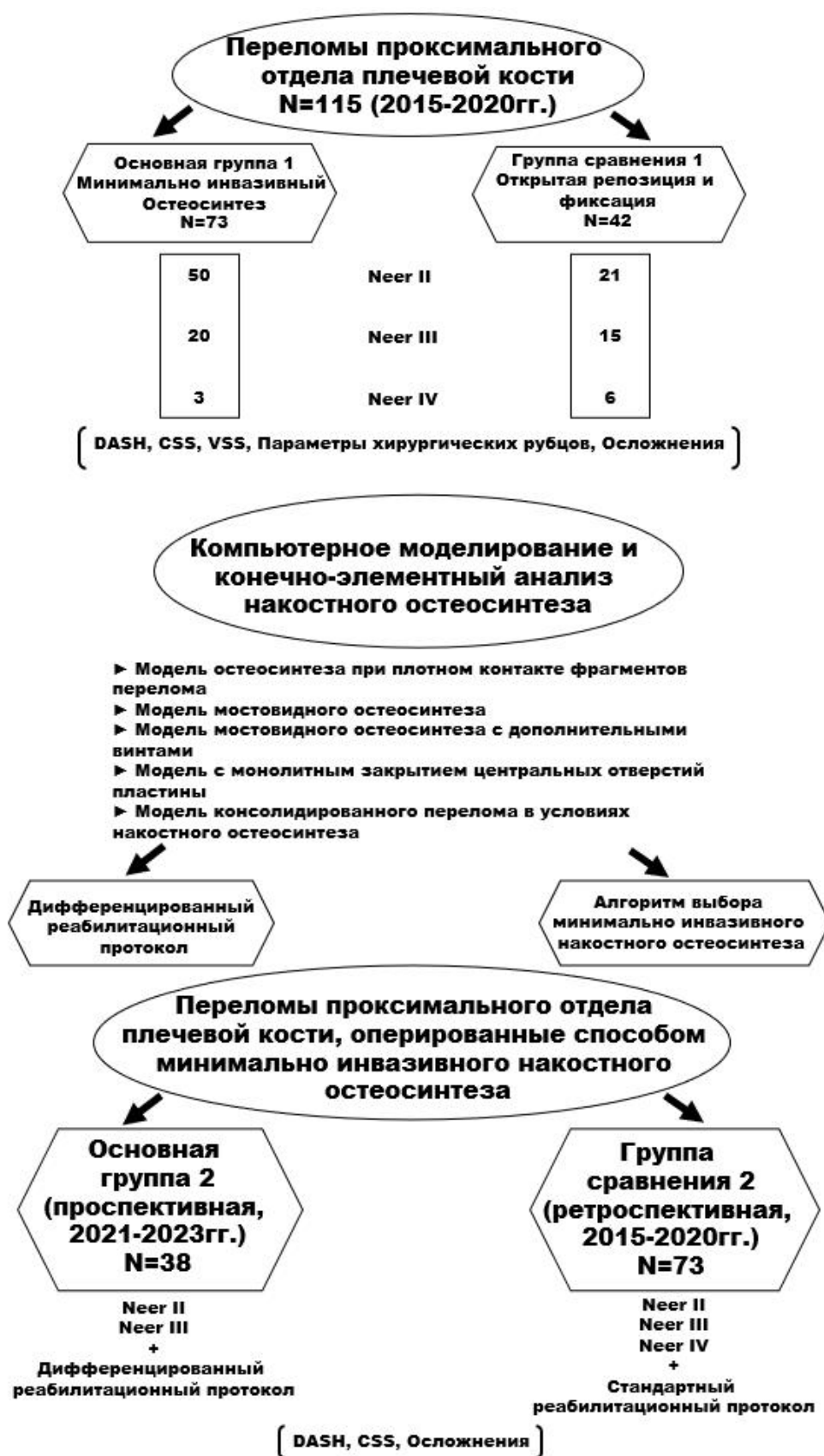


Рисунок 1 – Дизайн исследования

В ретроспективном исследовании пациентов вели в послеоперационном периоде по результатам авторов систематического обзора протоколов реабилитации [Budharaju A. 2024]: иммобилизация оперированной верхней конечности в косыночной повязке до 3 недель. Повязку разрешали снимать до четырех раз в день для выполнения упражнений и повседневных дел. Осуществляли ранние пассивные движения в плечевом суставе под контролем врача лечебной физкультуры с вторых суток, через 3 недели начинали активную разработку движений.

Оценивая полученные данные при сравнении общего количества пациентов, а также при распределении их по способам оперативного вмешательства, были получены выводы о наиболее рациональном выделении трех групп для дальнейшего сравнения результатов:

1. Распределение по возрастам до 60-ти лет и старше 60-ти лет – ввиду медианы распределения возрастов пациентов, а также результатов корреляционного анализа.
2. Распределение переломов проксимального отдела плечевой кости по фрагментарности в соответствии с классификацией Neer.
3. Распределение по способу накостного остеосинтеза (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ исследуемых групп пациентов и накостного остеосинтеза по типу перелома проксимального отдела плечевой кости по классификации Neer

Тип перелома	Группа пациентов		Уровень Р, (df=2)
	Основная группа 1 (МИНО), (N=73)	Группа сравнения 1 (ОРИФ), (N=42)	
Neer II	50 (68,5%)	21 (50,0%)	0,06
Neer III	20 (27,4%)	15 (35,7%)	
Neer IV	3 (4,1%)	6 (14,3%)	

При оценке функции и состояния оперированного плечевого сустава в отдаленном периоде (через 12 месяцев с момента операции) не была получена статистически значимая разница по результатам анализа опросников DASH (МИНО 3,5 балла [2,4; 7,8], ОРИФ 4,2 балла [2,5; 12,3]), CSS (МИНО 90,0 баллов [84,0; 93,0], ОРИФ 78,7 балла [26,0; 89,0]): $p > 0,05$ во всех измерениях. При оценке результатов у двух возрастных групп были отмечены худшие результаты по опроснику DASH у пациентов старше 60 лет 4,3 балла [2,9; 12,3], $p < 0,05$, но сопоставимые по VSS и CSS, $p > 0,05$. В случае оценки хирургического рубца через год после МИНО выявлено, что рубец короче (80,0 мм [75,0; 90,0], $p < 0,05$) и равномерен по ширине (проксимальный участок 2,0 мм [2,0; 3,0], посередине 3,0 мм [2,0; 3,0], дистальный участок 2,0 мм [1,0; 2,0], $p < 0,05$). В случае дельтопекторального доступа при ОРИФ имелась тенденция к веретенообразному расширению в дистальном направлении: проксимально 3,0 мм [2,0; 4,0], посередине 3,0 мм [3,0; 5,0], дистально 3,0 мм [3,0; 5,0]. При оценке рубцов по VSS МИНО

превосходил ОРИФ (2,0 балла [1,0; 3,0] при МИНО против 3,0 баллов [2,0; 5,0] при ОРИФ, $p<0,05$) (таблица 2, рисунок 2, 3).

Таблица 2 – Сравнение показателей размеров хирургического рубца у изучаемых групп пациентов

Показатели размеров хирургического рубца (мм)	Группа пациентов		Уровень Р
	Основная группа 1 (МИНО) (N=73) Me [Q1; Q3]	Группа сравнения 1 (ОРИФ) (N=42) Me [Q1; Q3]	
Общая длина, мм	80,0 [75,0; 90,0]	120,0 [100,0; 140,0]	<0,0001
Ширина проксимального участка, мм	2,0 [2,0; 3,0]	3,0 [2,0; 4,0]	0,144
Ширина среднего участка, мм	3,0 [2,0; 3,0]	3,0 [3,0; 5,0]	0,004
Ширина дистального участка, мм	2,0 [1,0; 2,0]	3,0 [3,0; 5,0]	<0,0001



А



Б



В



Г

Рисунок 2– фотографии хирургических рубцов от дельтопекторального доступа при накостном остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости в отдаленном (А, Б, В) и раннем (Г) послеоперационных периодах (собственное наблюдение)



А



Б



В



Г

Рисунок 3 – фотографии хирургических рубцов от минимально инвазивного оперативного доступа при накостном остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости в отдаленном (А, Б, В) и раннем (Г) послеоперационных периодах (собственное наблюдение)

При оценке результатов по функции плеча было показано, что при четырехфрагментарных переломах способ ОРИФ имеет более хорошие результаты, чем способ МИНО. В этих случаях способ МИНО имеет ограниченное применение и не рекомендуется, поскольку в исследовании были выявлены неудовлетворительные результаты.

При исследовании неудовлетворительных результатов всего было выявлено 34 осложнения – 29,6%. Было отмечено превалирование их развития в послеоперационном периоде – до 3 месяцев. Это может указывать на проблемы, возникающие в период реабилитации. Выявлены перфорация винта в полость сустава, варусное смещение головки плечевой кости, аваскулярный некроз (АВН), потеря репозиции и поломка пластины (рисунок 4).

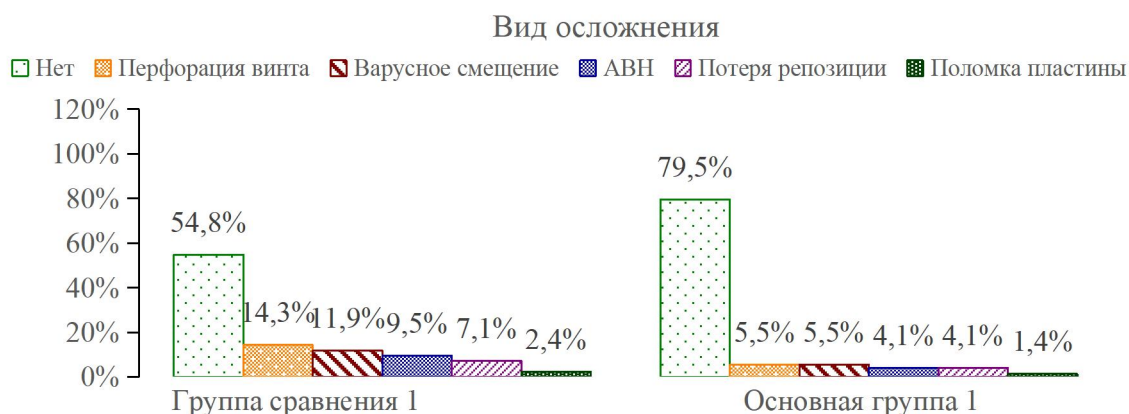


Рисунок 4 – Сравнение показателей групп пациентов по количеству и видам осложнений

При рассмотрении результатов было выявлено наименьшее количество осложнений в группе МИНО Neer II (у всех пациентов) и Neer III (у пациентов младше 60ти лет) ($p < 0,05$). В случаях четырехфрагментарных переломов, способ МИНО имеет ограниченное применение и не рекомендуется, поскольку в исследовании были выявлены неудовлетворительные результаты. Чаще осложнения встречались у пациентов старше 60ти лет. При Neer II МИНО превосходил ОРИФ по CSS и рискам развития осложнений, а при Neer III ОРИФ превосходит МИНО по CSS и DASH ($p < 0,05$) (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнительный анализ показателей VSS, шкал опросников функции плеча и количества осложнений при использовании способов накостного остеосинтеза при разных типах переломов по Neer

Тип перелома	Neer II		<i>p</i>	Neer III		<i>p</i>	Neer IV		<i>p</i>
Группа пациентов	Основная группа 1	Группа сравнения 1		Основная группа 1	Группа сравнения 1		Основная группа 1	Группа сравнения 1	
Способ накостного остеосинтеза	МИНО	ОРИФ		МИНО	ОРИФ		МИНО	ОРИФ	
(Количество пациентов (N))	(N=50) Me [Q1; Q3]	(N=21) Me [Q1; Q3]		(N=20) Me [Q1; Q3]	(N=15) Me [Q1; Q3]		(N=3) Me [Q1; Q3]	(N=6) Me [Q1; Q3]	
VSS, баллы	2,0 [1,0; 3,0]	2,0 [2,0; 4,0]	0,117	3,5 [2,0; 4,2]	3,0 [3,0; 4,0]	0,865	10,0 [9,0; 10,0]	7,0 [6,2; 7,7]	0,049
DASH, баллы	3,1 [2,2; 4,1]	2,8 [2,5; 4,5]	0,453	9,1 [5,4; 13,4]	4,2 [3,3; 7,9]	0,04	43,4 [41,0; 46,3]	31,2 [18,4; 43,9]	0,439
CSS, баллы	91,5 [90,0; 94,0]	90,0 [89,0; 92,0]	0,025	82,0 [78,0; 85,5]	89,0 [83,5; 91,5]	0,007	36,0 [32,0; 36,0]	51,0 [27,7; 72,0]	0,795
Количество осложнений (N, %)	6 (12,0%)	8 (38,1%)	0,012	6 (30%)	7 (46,7%)	0,313	3 (100%)	4 (66,7%)	0,257

Эти результаты побудили нас выполнить компьютерное моделирование и провести расчеты в экспериментальной модели. Вначале строили 3D-модель в программном комплексе Catia с последующим совершенствованием структуры в SolidWorks. Геометрию переломов моделировали с помощью виртуальных остеотомий. Оскольчатые (многофрагментарные) переломы моделировали путем исключения оскольчатой зоны, с предположением того, что зона не сможет выдерживать нагрузку до консолидации (рисунок 5, А, Б).

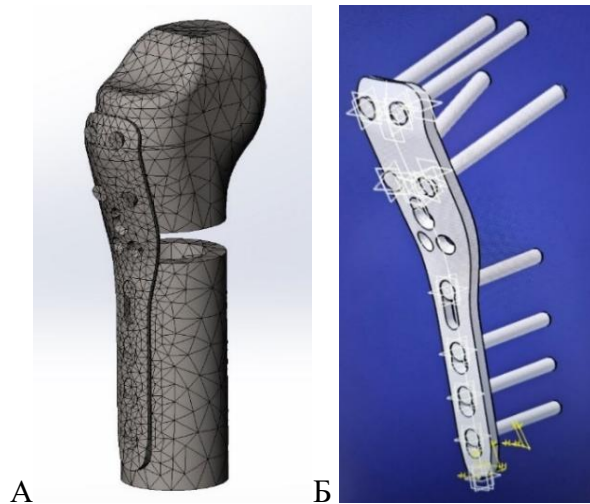


Рисунок 5 – Моделирование накостного остеосинтеза в программно-аналитических комплексах: А – 3D-модель плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза пластиной и винтами. Модель кости имеет зону дефекта, обозначающего оскольчатую метафизарную зону. Б – 3D-пространственная модель реконструктивной пластины с угловой стабильностью винтов

В исследовании рассматривали четыре вида клинических ситуаций. Подвергали указанные модели нагрузке в 50 Н, 100 Н и 300 Н по оси плечевой кости (опора на локоть, вес конечности) и перпендикулярно оси (отведение в плечевом суставе).

1. Ранний послеоперационный период (до формирования костной мозоли): плотный межфрагментарный контакт при остеосинтезе (рисунок 6, А-В)

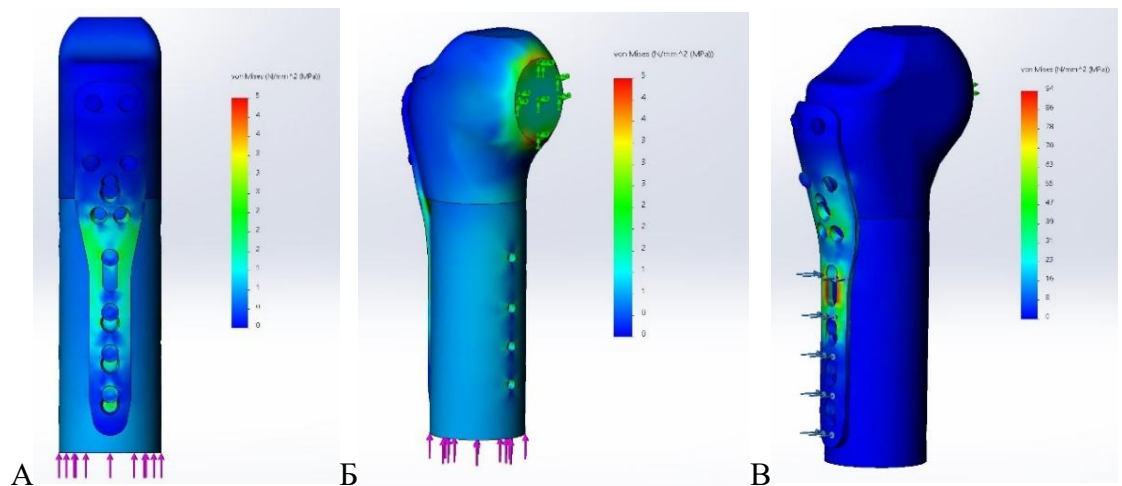


Рисунок 6 – Модель плотного контакта фрагментов перелома: А, Б – напряжение на деформацию пластины при осевой нагрузке в 300 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала без зон перегрузок, В – напряжение на деформацию пластины при нагрузках на отведение в плечевом суставе в 100 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части в области отверстий для винтов

2. Ранний послеоперационный период (до формирования костной мозоли):
остеосинтез в условиях оскольчатой метафизарной перелома (рисунок 7, А, Б)

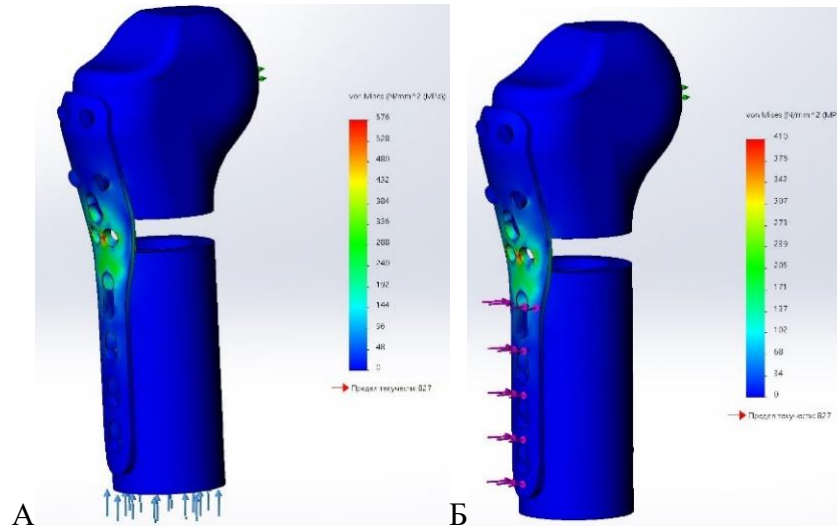


Рисунок 7 – Модель остеосинтеза оскольчатого перелома метафизарной зоны: А – напряжение на деформацию пластины при осевой нагрузке в 300 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части в области отверстий для винтов, Б – напряжение на деформацию пластины при нагрузках на отведение в плечевом суставе в 100 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части в области отверстий для винтов

3. Ранний послеоперационный период (до формирования костной мозоли):
остеосинтез в условиях оскольчатой метафизарной зоны с фиксацией дополнительными винтами к проксимальному фрагменту (рисунок 8, А, Б)

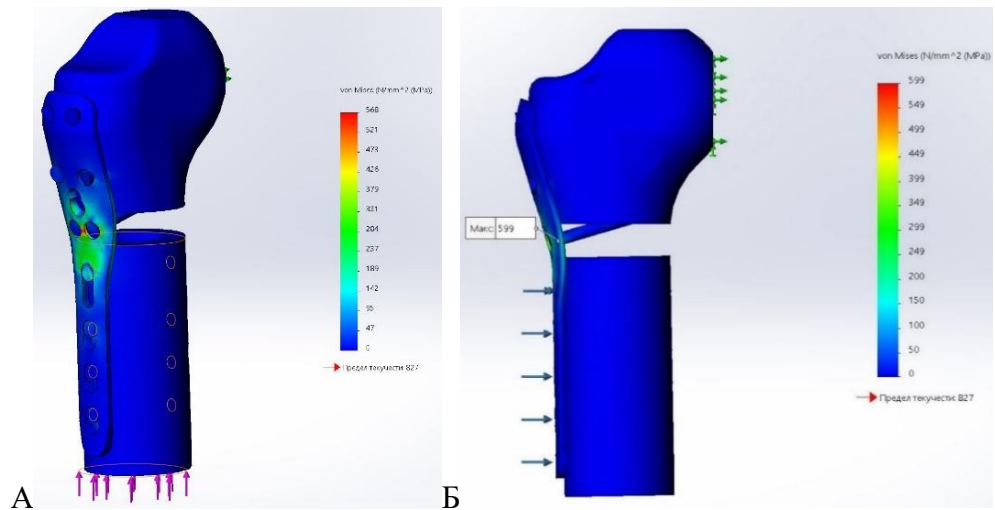


Рисунок 8 – Модель фиксации перелома с оскольчатой метафизарной зоной при помощи опорных винтов к проксимальному фрагменту: А – напряжение на деформацию пластины при осевой нагрузке в 300 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части в области отверстий для дополнительно проведенных винтов Б – напряжение на деформацию пластины при нагрузках на отведение в плечевом суставе в 100 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части в области отверстий для винтов

4. Ранний послеоперационный период (до формирования костной мозоли): моделирование пластины с монолитным центром – без отверстий под винты в центре пластины (рисунок 9, А, Б)

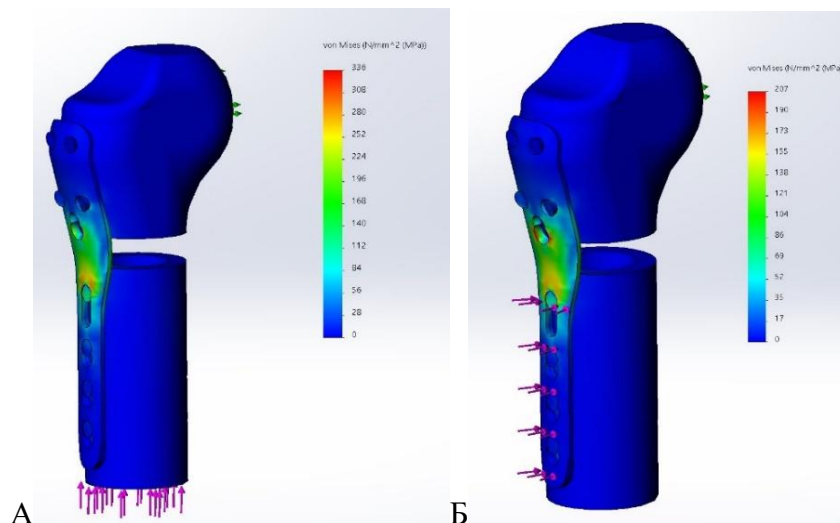


Рисунок 9 – Модель с монолитным закрытием центральных отверстий пластины: А – напряжение на деформацию пластины при осевой нагрузке в 300 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части пластины с

концентрацией на центральном отверстии для винта, Б – напряжение на деформацию пластины при нагрузках на отведение в плечевом суставе в 100 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с зонами перегрузок на средней части в области центрального отверстия для винтов

Дополнительно рассмотрели модель отдаленного послеоперационного периода (сформированная костная мозоль) (рисунок 10, А-В).

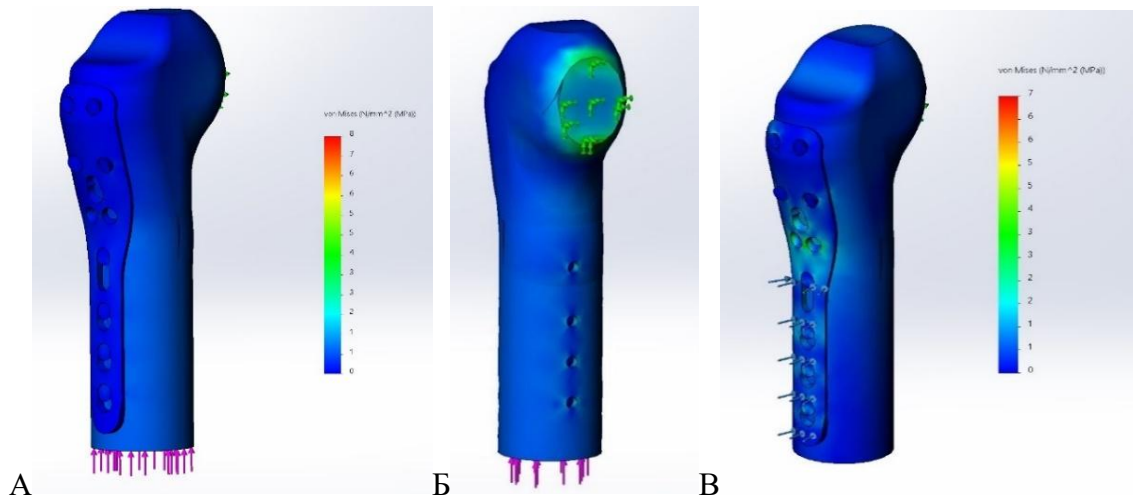


Рисунок 10 – Модель консолидированного в условиях накостного остеосинтеза перелома: А – напряжение на деформацию пластины при осевой нагрузке в 300 Н – пластина не испытывает напряжения, Б – отверстия от винтов в медиальном кортикале плечевой кости испытывают напряжения в пределах текучести, В: напряжение на деформацию пластины при нагрузках на отведение в плечевом суставе в 100 Н – пластина испытывает напряжения в пределах текучести материала с равномерным распределением напряжений преимущественно в центральном и дистальном участках

Результат шкалы показывал потенциально опасные сечения, где максимальное значение отражало нахождение в пределах зоны упругости материала. При упругой деформации пластина не изменяла линейных значений и после снятия нагрузки восстанавливала форму. Соответственно, если напряжение было больше предела текучести материала, наступала пластическая деформация, т.е. пластина начинала деформироваться до тех пределов, при которых был невозможен возврат к прежней форме из-за изменения размеров. В крайних пиковых напряжениях была возможна поломка пластины. Наибольшие предпосылки к поломке пластины были при нагрузке на отведение в плечевом суставе во всех представленных экспериментальных моделях: при минимальной нагрузке в 50 Н напряжение на центральном

участке пластины возрастало до пиковых, близких к превышению предела текучести материала, что могло вызывать его упругие или пластические деформации. Осевая же нагрузка не выражалась в таких существенных изменениях на пластине или модели кости. Данные экспериментального анализа показали, что ни изменение структуры пластины (монолитное закрытие центральных отверстий для винтов), ни дополнительное проведение опорных винтов к проксимальному фрагменту, не позволяют снизить напряжения на центральном участке пластины при нагрузке на отведение в плечевом суставе, а, значит, уменьшить риски поломки пластины и потери репозиции в послеоперационном периоде на этапе реабилитации.

В дальнейшем полученные данные ретроспективного клинического и экспериментального разделов позволили выделить рискованные группы и создать алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза и дифференцированный реабилитационный протокол. Способ МИНО при любом возрасте пациента рекомендуется для накостного остеосинтеза двухфрагментарных переломов; при трехфрагментарных переломах способ МИНО может применяться с лучшими функциональными результатами и меньшим количеством осложнений у пациентов младше 60 лет (рисунок 11).



Рисунок 11 – Алгоритм выбора способа накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости в зависимости от сложности перелома и возраста пациента

В послеоперационном периоде рекомендуется дифференцировать пациентов относительно вида фиксации фрагментов перелома: плотный межфрагментарный контакт перелома или мостовидная фиксация. Первый вид позволяет через 3 недели начинать пассивное отведение в плечевом суставе при наличии признаков сохранения репозиции на рентген-

контроле, начинать активное отведение в плечевом суставе при наличии признаков сохранения репозиции/начальной консолидации через 6 недель. В случае мостовидной фиксации начало пассивного отведения в плечевом суставе возможно выполнять не ранее 6 недель при сохранении репозиции на рентген-контроле (рисунок 12).



Рисунок 12 – Дифференцированный реабилитационный протокол после минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости в случае плотной межфрагментарной фиксации и мостовидной фиксации перелома

По результатам ретроспективного и экспериментального этапов работы была выделена группа ретроспективного алгоритма (Группа сравнения 2) МИНО при переломах типа Neer II, III и IV (N=73 пациента). С учетом созданного алгоритма выбора МИНО и дифференцированного реабилитационного протокола была сформирована проспективная группа (Основная группа 2) исследования (N= 38 пациентов) при Neer II и Neer III.

Алгоритм выбора МИНО и дифференцированный реабилитационный протокол показали сопоставимые результаты с стандартным алгоритмом в общих когортах исследования. Вместе с тем, «Основная группа 2» имела меньшее количество осложнений (5.3%, $p < 0,05$), отсутствие поломок пластины, потери репозиции и АВН. Кроме того, при оценке клинической эффективности алгоритм «Основной группы 2» показал в отдаленном периоде лучшие

функциональные результаты у пациентов с переломами типа Neer II, III по шкалам опросников и меньшим количеством осложнений (таблица 4).

Таблица 4 – распределение результатов шкал опросников, осложнений по исследуемым группам пациентов и сложности перелома

Тип перелома	Neer II		<i>p-value</i>	Neer III		<i>p-value</i>
Группа пациентов	Основная группа 2	Группа сравнения 2		Основная группа 2	Группа сравнения 2	
Количество пациентов (N)	(N=25) Me [Q1; Q3]	(N=50) Me [Q1; Q3]		(N=13) Me [Q1; Q3]	(N=20) Me [Q1; Q3]	
DASH, баллы	3,2 [2,5; 3,3]	3,1 [2,2; 4,1]	0,83	5,3 [4,4; 7,0]	9,1 [5,4; 13,4]	0,021
CSS, баллы	92,0 [91,0; 93,0]	91,5 [90,0; 94,0]	0,63	84,0 [83,0; 89,0]	82,0 [78,0; 85,5]	0,028
Количество осложнений	0	6 (12%)	0,071	2 (15.4%)	6 (30%)	0,338

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минимально инвазивный накостный остеосинтез по результатам проведенного исследования был рассмотрен с разных сторон: были выявлены предпочтительные группы его применения, определена сложность перелома для оптимального использования этого способа, а также выявлены предпосылки к развитию осложнений в послеоперационном периоде. Предложенный дифференцированный реабилитационный протокол и алгоритм выбора МИНО проксимального отдела плечевой кости отличаются выделением узких показаний к применению способа, а также контролируемым и этапным введением в послеоперационную реабилитацию движений на отведение в плечевом суставе при рентгенологическом контроле сохранения репозиции фрагментов перелома. Результаты анализа эффективности показали превосходство предложенного алгоритма выбора МИНО и дифференцированного реабилитационного протокола по функции оперированного плечевого сустава в отдаленном послеоперационном периоде, а также его клиническую безопасность применения с меньшими рисками развития осложнений.

ВЫВОДЫ

1. После выполнения накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости отмечено 29,6% осложнений: варусное смещение, перфорация винта в сустав,

потеря репозиции, поломка пластины, аваскулярный некроз. Преимущественно они встречались при оперативном лечении с применением дельтопекторального доступа, а также при переломах типа Neer IV, оперированных при помощи минимально инвазивного доступа. Минимально инвазивный доступ превосходил дельтопекторальный по результатам Ванкуверской шкалы на 34,8%, $p < 0,05$, по размерам хирургического рубца (короче на 42,7 мм, тоньше на 1,5 мм, $p < 0,05$), а также при переломах Neer II (CSS выше на 6,4%, $p < 0,05$). При Neer III и IV накостный остеосинтез с применением дельтопекторального доступа превосходил минимально инвазивный (по DASH на 19,3%; по CSS на 3,9%, $p < 0,05$).

2. Предпосылками к потере репозиции и поломке пластины являлось раннее активное отведение в плечевом суставе, которое увеличивало напряжение средней части пластины в 3 раза по сравнению с осевой нагрузкой. В моделях консолидированного перелома напряжение на пластине снижалось.

3. Дифференцированный реабилитационный протокол после применения минимально инвазивного накостного остеосинтеза, заключающийся в этапной активизации оперированного плечевого сустава, при котором в случае плотного межфрагментарного контакта перелома пассивное отведение в плечевом суставе начинали не ранее 3 недель при рентгенологических признаках сохранения репозиции отломков, а активное отведение – не ранее 6 недель при рентгенологических признаках сохранения репозиции отломков, а в случае мостовидной фиксации перелома пассивное отведение начинали через 6 недель, активное – через 9 недель, показал лучшие результаты при переломах Neer III: по DASH на 62,8 %, $p < 0,05$, по CSS на 5,3%, $p < 0,05$ и на 8,5% меньше осложнений с отсутствием рисков поломки пластины и потери репозиции.

4. Алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза при обоснованном в клинической и экспериментальной работе дифференцированном реабилитационном протоколе может применяться с меньшим количеством осложнений при переломах Neer II и Neer III (5,3 %, $p < 0,05$).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При многофрагментарном характере перелома (Neer IV) более предпочтительно применять накостный остеосинтез при помощи дельтопекторального доступа ввиду возможности лучшей репозиции за счет широкого обзора для идентификации и манипулирования фрагментами перелома.

2. Применение минимально инвазивного накостного остеосинтеза при переломах проксимального отдела плечевой кости Neer II и Neer III позволяет снизить риск развития аваскулярного некроза и варусного смещения головки плечевой кости.

3. После выполнения мостовидной накостной фиксации оскольчатого перелома метафизарной зоны необходимо проведение этапной реабилитации с ограничением отведения в плечевом суставе до 6 недель при рентген-контроле сохранения репозиции фрагментов.

4. Дополнительные опорные винты, проведенные из середины пластины в головку плечевой кости, не снижают напряжение на металлофиксаторе и не способствуют большей фиксации фрагментов оскольчатого перелома метафизарной зоны проксимального отдела плечевой кости.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1) Петросян А.С., Егиазарян К.А., Тутуров А.О., Панин М.А., Ершов Д.С./ Осложнения после накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости.// Медицинский вестник ГКВГ им. Н.Н. Бурденко 2024, 5(4), 20-28

<https://doi.org/10.53652/2782-1730-2024-5-4-20-28>. ВАК/РУДН, К3

2) Петросян А.С., Егиазарян К.А., Тутуров А.О., Айрапетов Г.А., Ершов Д.С./ Возможности хирургического лечения массивных, невосстанавливаемых повреждений вращательной манжеты плеча.// Медицинский альянс 2024, 12(1), 41-48

<https://doi.org/10.36422/23076348-2024-12-1-41-48>. ВАК/РУДН, К3

3) Тутуров А.О., Петросян А.С., Ивашкин А.Н., Панин М.А./ Оперативное лечение переломов проксимального отдела плечевой кости при помощи стандартного и минимально инвазивного подходов.// Медицинский вестник МВД 2024, 128(1), 6-10

https://doi.org/10.52341/20738080_2024_128_1_6. ВАК/РУДН, К2

4) Тутуров А.О., Петросян А.С., Панин М.А., Егиазарян К.А./ Сравнение минимально инвазивного остеосинтеза и открытой репозиции и фиксации переломов проксимального отдела плечевой кости.// Кафедра травматологии и ортопедии 2023, 4(54), 86-96

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-4-86-96>. ВАК/РУДН, ИФ (2023)=0,463

5) Тутуров А.О., Кузьмин П.Д., Пиманчев О.В./ Хирургическая стабилизация плечевого сустава. Результаты пятилетнего опыта.// Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова 2021, 16(1), 39-45

<https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2021.48.23.007>. ВАК/РУДН, RSCI

6) Тутуров А.О., Петросян А.С., Панин М.А., Захарян Б.И., Аль-Баварид О./ Повреждения нервов при хирургии плечевого сустава.// Гений ортопедии 2024, 30(4), 597-607

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-597-607>, МБЦ, SCOPUS

7) Тутуров А.О., Егиазарян К.А., Ратъев А.П., Ершов Д.С./ Конечно-элементный анализ накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости в раннем и позднем

послеоперационных периодах.// Сборник материалов, IX Международный Конгресс АСТАОР 2025, 20. Тезис конференции

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВН – аваскулярный некроз;

ЛФК – лечебная физическая культура;

МИНО – Минимально инвазивный на костный остеосинтез;

ОРИФ – Открытая репозиция и фиксация;

ЭОП – электронный оптический преобразователь;

CSS – Constant shoulder score;

DASH – Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure;

VSS – Vancouver Scar Scale, Ванкуверская шкала оценки характеристик рубца.

АННОТАЦИЯ

Тутуров Александр Олегович

«МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫЙ НАКОСТНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ»

Диссертационное исследование посвящено актуальной проблеме травм опорно-двигательного аппарата. В работе проведен анализ современных методов оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости. Ретроспективный анализ результатов применения наkostного остеосинтеза позволил выявить особенности формирования хирургического рубца при минимально инвазивном и дельтопекторальном доступах, определить варианты развития осложнений, а также на основании функции в отдаленном послеоперационном периоде выделить показания для использования каждого из этих способов. В экспериментальном разделе проведен конечно-элементный анализ моделей наkostного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости в раннем и отдаленном послеоперационных периодах с целью выявления предпосылок к потере репозиции и поломке пластины. По результатам ретроспективного и экспериментального исследований был создан алгоритм выбора минимально инвазивного наkostного остеосинтеза и дифференцированный реабилитационный протокол. Использование в клинической практике результатов диссертационного исследования позволило улучшить результаты хирургического лечения пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости.

SUMMARY

Tuturov Alexander Olegovich

«MINIMALLY INVASIVE PLATE OSTEOSYNTHESIS OF PROXIMAL HUMERUS FRACTURES»

The original research is devoted to the actual problem of musculoskeletal injury. In this study the modern surgical treatment methods for proximal humerus fractures are analyzed. The plate osteosynthesis is the focus of this work. A retrospective analysis of open reduction and fixation and minimally invasive approaches allowed to identify the characteristics of surgical scar formation with minimally invasive and deltopectoral approaches. The risk of complications was also assessed and indications for each osteosynthesis method were determined. Finite element analysis was used to present osteosynthesis models for proximal humerus fractures in the early and late postoperative periods. In addition, the causes for loss of reposition and mechanical plate breakage were identified. Based on the results of retrospective and experimental studies, the algorithm for selecting minimally invasive plate osteosynthesis and the differentiated rehabilitation protocol were developed. The proposed innovations optimized the use of minimally invasive osteosynthesis and improved surgical treatment outcomes for patients with proximal humeral fractures.