

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

"РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.И. ПИРОГОВА"

МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

Тутуров Александр Олегович

**МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫЙ НАКОСТНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ  
ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ**

3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук, профессор  
Егиазарян Карен Альбертович

Москва – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	4
<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	12
1.1 Нормальная и патологическая анатомия и биомеханика плеча у пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости .....	12
1.2 Физико-математический расчет при остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости .....	19
1.3 Дельтопекторальный и минимально инвазивный оперативные доступы к плечевому суставу.....	24
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....</b>	29
2.1 Дизайн исследования .....	29
2.2 Общая характеристика пациентов ретроспективного исследования .....	32
2.3 Общая характеристика пациентов проспективного исследования.....	36
2.4 Методы исследования.....	37
<b>ГЛАВА 3. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМОМ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ .....</b>	54
<b>ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	60
4.1 Результаты ретроспективного сравнительного исследования накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости с применением минимально инвазивного и дельтопекторального доступов.....	60
4.2 Осложнения после накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости .....	75
<b>ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	85
5.1 Экспериментальный раздел: физико-математический и конечно-элементный анализ моделей перелома проксимального отдела плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза .....	85

5.2 Алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости и дифференцированный реабилитационный протокол послеоперационного ведения пациентов.....	92
5.3 Анализ эффективности минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости с использованием алгоритма выбора и дифференцированного реабилитационного протокола и без их применения .....	98
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	107
<b>ВЫВОДЫ .....</b>	115
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....</b>	117
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....</b>	118
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	119

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования

Переломы проксимального отдела плечевой кости являются актуальной проблемой травматологии и ортопедии, так как нет точного указания на конкретные варианты лечения при том или ином виде перелома. Переломы проксимального отдела плечевой кости являются третьей по частоте локализацией перелома [40] и входят в семь наиболее частых переломов у взрослых [94] с частотой встречаемости от 4 до 10% от всех переломов по данным нескольких исследований, проведенных в разных популяциях [50, 86]. Причем, с одной стороны такие повреждения встречаются у молодых пациентов, получивших высокоэнергетическую травму, с другой стороны – у пожилых с низкоэнергетической травмой на фоне остеопороза, доля которых составляет 87% [19, 71]. Предполагают, что показатель травматизма повышается с каждым годом ввиду увеличения пациентов пожилого и старческого возраста [26].

Тактика лечения зависит от множества факторов, включая степень смещения перелома, уровень активности пациента, сопутствующие травмы и заболевания, возраст, тип перелома и качество костной ткани [107]. Консервативное лечение показано только при стабильных переломах без смещения или с наличием минимального смещения. В других случаях требуется оперативное лечение.

В литературе описано около 40 различных методов оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости. Наиболее часто применяются: накостный остеосинтез, интрамедуллярный остеосинтез, остеосинтез спицами, остеосинтез в условиях аппарата внешней фиксации, трансоссальный шов костных фрагментов, первичное однополюсное эндопротезирование плечевого сустава и варианты тотального эндопротезирования (анатомическое и реверсивное) в случаях тяжелого разрушения проксимального отдела плечевой кости [5, 11, 14, 15, 20]. Аппараты внешней фиксации часто не позволяют осуществить стабильную

анатомическую репозицию, не позволяют начать раннюю разработку движений. Штифты несмотря на то, что являются достаточно стабильным способом фиксации, могут применяться с худшими результатами при небольших размерах костных фрагментов, оскольчатых протяженных переломах с переходом на диафиз, низком качестве костной ткани (например, на фоне остеопороза). Эта техника имеет сопоставимые с накостными методами риски несращения и неправильного сращения перелома, миграции металлофиксатора, развития болевого синдрома из-за повреждения вращательной манжеты при проведении стержня. Кроме того, интрамедуллярное размещение штифта травмирует эндоост и систему внутренних питающих артерий, что усугубляет этапность заживления костной ткани. К тому же, сохраняются риски повреждения периферических нервов при закрытом проведении винтов [1, 24, 109]. При сложных трех- и четырехфрагментарных переломах и переломовывихах наилучших результатов получается достичь при реверсивном тотальном эндопротезировании, которое практически не имеет тенденции к вывиху, удовлетворительно работает при массивных невосстановимых разрывах вращательной манжеты, дефектах и низком качестве костной ткани [21, 27, 28, 90]. В настоящее время наличие четырехфрагментарного перелома нельзя считать абсолютным показанием для выполнения эндопротезирования, поскольку у молодых пациентов возможно выполнение остеосинтеза с приемлемым результатом [18, 66]. Недавние исследования сообщают, что эндопротезирование, как «лучший выбор» является спорным [9]. Wooten C. с соавт. [115] обнаружили, что эндопротезирование плечевого сустава при такой травме уступает эндопротезированию при плечелопаточном остеоартрозе.

Применение блокируемых пластин до сих пор является «золотым стандартом» остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости. Эта методика демонстрирует удовлетворительные функциональные результаты при разных видах переломов [19]. Открытую репозицию и фиксацию следует рассматривать, как основной и первичный метод лечения любых переломов, в том числе оскольчатых переломовывихов проксимального отдела плечевой кости не только у пациентов молодого, но и среднего возраста [57, 92].

Однако, Owsley K.C. и Gorczyca J.T. с соавт. по результатам рентгенологического исследования наблюдали осложнения в 36% случаев: смещения винтов в полость сустава, варусное смещение с отклонением  $>10^\circ$  и другие. Риск развития этих осложнений был значительно выше у пациентов старше 60 лет (57% и 22%,  $p=0,0015$ ) [83]. Кроме того, с целью исключения вышеуказанных осложнений, уменьшения интраоперационной кровопотери, увеличения скорости выполнения операции, а также улучшения функционального и косметического результата, исследователи разработали минимально инвазивный способ накостного остеосинтеза, выполняемый путем установки пластины с помощью антеролатерального доступа (переднелатеральное расщепление порции дельтовидной мышцы) [57]. Несмотря на это до сих пор нет ясности в вопросе выбора той или иной техники накостного остеосинтеза в разных клинических ситуациях. Кроме того, нет единого мнения, насчет явного преимущества дельтопекторального над минимально инвазивным доступом при разных типах переломов, как и не имеется частных показаний к их применению. Неверная оценка сложности перелома приводит к неверному выбору оперативного доступа, что определяет трудности оперативного лечения, дальнейшей реабилитации, а также повышает риски развития осложнений. Это явилось основополагающим фактором при определении темы представленного исследования.

### **Степень разработанности исследования**

В настоящее время, наиболее широко рассматриваются такие сложно выявляемые проблемы, как развитие упругих деформаций, а также поломки пластины из-за излишней перегрузки на этапе реабилитации или в раннем послеоперационном периоде. Современные программные комплексы позволяют проанализировать детально эти проблемы, однако, исследования ограничены моделированием напряжений на пластины только на этапе интраоперационного контроля. Ранний и отдаленный послеоперационные периоды могут демонстрировать разные варианты нагрузок на пластины. 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 у профильных пациентов, 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 объёме 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 ГКБ №1 им. Н.И. Пирогова ДЗМ, ГБУЗ ГКБ им. В.П. Демихова ДЗМ, а также используются на кафедре травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии института хирургии ФГАОУ ВО РНИМУ 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.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### ПРЕДПОСЫЛКИ К РАЗВИТИЮ ОСЛОЖНЕНИЙ ПОСЛЕ НАКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

#### 1.1 Нормальная и патологическая анатомия и биомеханика плеча у пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости

Плечевой сустав является шаровидным, имеет широкий диапазон движений и является наиболее подвижным суставом. Анатомическая конфигурация плечевого сустава, во многом напоминает «мяч для гольфа на тройнике»: суставная поверхность головки плечевой кости в четыре раза больше, чем гленоидальная впадина. Суставная поверхность головки плечевой кости занимает около 160° сферы, приблизительный радиус которой около 25 мм. В среднем шеечно-диафизарный угол составляет 135°, а центр ротации головки смещен медиально на 6 мм и кзади на 3 мм от продольной оси диафиза, тем самым занимая положение ретроверсии в 19-22° [33]. В среднем поперечный размер проксимального эпифиза правой плечевой кости равен 57-81 мм, левой – 60-82 мм [29].

Благодаря такому внешнему виду, плечевой сустав имеет большую подвижность, но жертвует при этом стабильностью. По этой причине он является одним из наиболее предрасположенных к вывихам и сложным повреждениям. Во многом основу конгруэнтности, силы и подвижности в плечевом суставе составляет вращательная манжета плеча, состоящая из сухожилий четырех мышц: подлопаточная, надостная, подостная и малая круглая. Первая прикрепляется к малому бугорку, остальные – к большому бугорку. Весь представленный сухожильно-мышечный комплекс не только обеспечивает объем движений в плече, но и определяет стабилизацию и центрацию головки плечевой кости в гленоиде. Поверх них располагается широкая, состоящая из трёх порций, дельтовидная мышца, которая прикрепляется к дельтовидной бугристости плечевой кости. Кровоснабжение осуществляется посредством надлопаточной артерии, передней и

задней артерий, огибающих плечевую кость, а также грудоакромиальной и подлопаточной артерий. Недавние исследования показали, что основное кровоснабжение проксимального отдела плечевой кости осуществляется за счёт задней огибающей артерии плеча [70]. Остаточное кровоснабжение осуществляется за счёт передней огибающей плечевую кость артерии, которая является ветвью подмышечной артерии. Дугообразная артерия, ветвь передней огибающей плечевую кость артерии, обеспечивает основную часть кровоснабжения большого бугорка. Кроме того, кровоснабжение частично осуществляется за счёт кровеносных сосудов вращательной манжеты плеча. Иннервация области сустава осуществляется ветвями подмышечного, надлопаточного и подлопаточного нервов.

В настоящее время для практикующих врачей наиболее актуальным стало изучение основ патологической анатомии и биомеханики плечевого сустава после повреждений. Эти знания позволяют успешнее выбирать метод лечения, а также прогнозировать его последствия. Одной из основ патологической биомеханики плеча у пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости является посттравматическое расхождение костных фрагментов относительно векторов тяги компонентов вращательной манжеты плеча. Чарльз Роквуд отмечал в своих работах, что восстановление правильных взаимоотношений бугорков плечевой кости и ротаторной манжеты является основным для восстановления функции плечевого сустава [91].

При переломах проксимального отдела плечевой кости биомеханика воздействия ротаторной манжеты осуществляется путем её тяги в сторону грудной клетки, а дельтовидной мышцы – за проксимальный отдел диафиза латерально и кверху. Тем самым, обеспечивается классический двухфрагментарный перелом хирургической шейки плеча. Изолированная тяга надостной и подостной мышц чаще приводит к отрывному перелому большого бугорка плечевой кости [87]. В случае многофрагментарных переломов наблюдается более сложная биомеханическая цепь событий: тяга компонентов вращательной манжеты смещает отломки в задневерхнем и медиальном направлениях, что в итоге приводит к

наиболее распространенной дислокации большого бугорка в субакромиальное пространство [12, 17].

Изучением биомеханики повреждений проксимального отдела плечевой кости занимались Boileau P.C. соавт. [65]. Коллективом автором была внедрена в практическое применение классификация переломов шейки плечевой кости, разделенных на три категории: тип А, В и С (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация переломов шейки плечевой кости по Boileau P. с соавт. [65]

Тип	Смещение диафиза	Положение головки плечевой кости
А	Частичное медиальное смещение	Вальгусное
В	Полностью медиальное или вентральное	Нейтральное
С	Частично латеральное	Варусное

В случае типа А происходило частичное медиальное смещение диафиза с вальгусным изгибом головки плечевой кости (приводящие мышцы плеча, преимущественно большая грудная и широчайшая мышцы спины, смещают диафиз медиально, что приводит к наклону головки плечевой кости в противоположную сторону).

В случае типа В происходит полное медиальное и вентральное смещение диафиза без наклона головки плечевой кости.

В случае типа С можно выявить латеральное смещение диафиза с варусным изгибом головки плечевой кости (мышцы, отводящие плечо, акромиальная часть дельтовидной и двуглавой мышц плеча, смещают диафиз латерально, а надостная мышца тянет головку при дальнейшем в варусном наклоне) [41].

С другой стороны, изучение физиологии перелома проксимального отдела плечевой кости демонстрирует важность влияния посттравматической гематомы плеча [77]. Гематомы при переломах проксимального отдела плечевой кости возникают из медиальных внутрикостных артерий и могут привести к подвывиху

плеча снизу из-за скопления в плечевом суставе [70]. Теория заключается в том, что первично происходит смещение фрагментов из-за увеличивающейся гематомы в области перелома, а в дальнейшем её постепенный регресс способствует (частично) восстановлению угла наклона головки [71].

Кроме того, патологическая анатомия перелома и его осложнения коррелируют не только с характером перелома, но и возрастом пациента, а также такими факторами, как сахарный диабет, курение, женский пол и остеопороз. Они могут быть предикторами риска аваскулярного некроза (АВН) головки плечевой кости и несращения [40, 35, 80].

Внешние нагрузки, прикладываемые к костям, в первую очередь обусловлены силами суставов и мышц. Биомеханика периартикулярных тканей плечевого сустава, а именно векторы тяги дельтовидной, надостной, подостной, подлопаточной, малой круглой, широчайшей и других мышц также влияют на перемещение фрагментов [43]. Векторы сил, определяемые при сокращении мышц плечевого пояса при отведении около 60-90 градусов, указывают на преобладание варусного смещения головки плечевой кости относительно проксимального отдела диафиза [72].

Наиболее известной является классификация переломов по Neer [44] (рисунок 1.1).

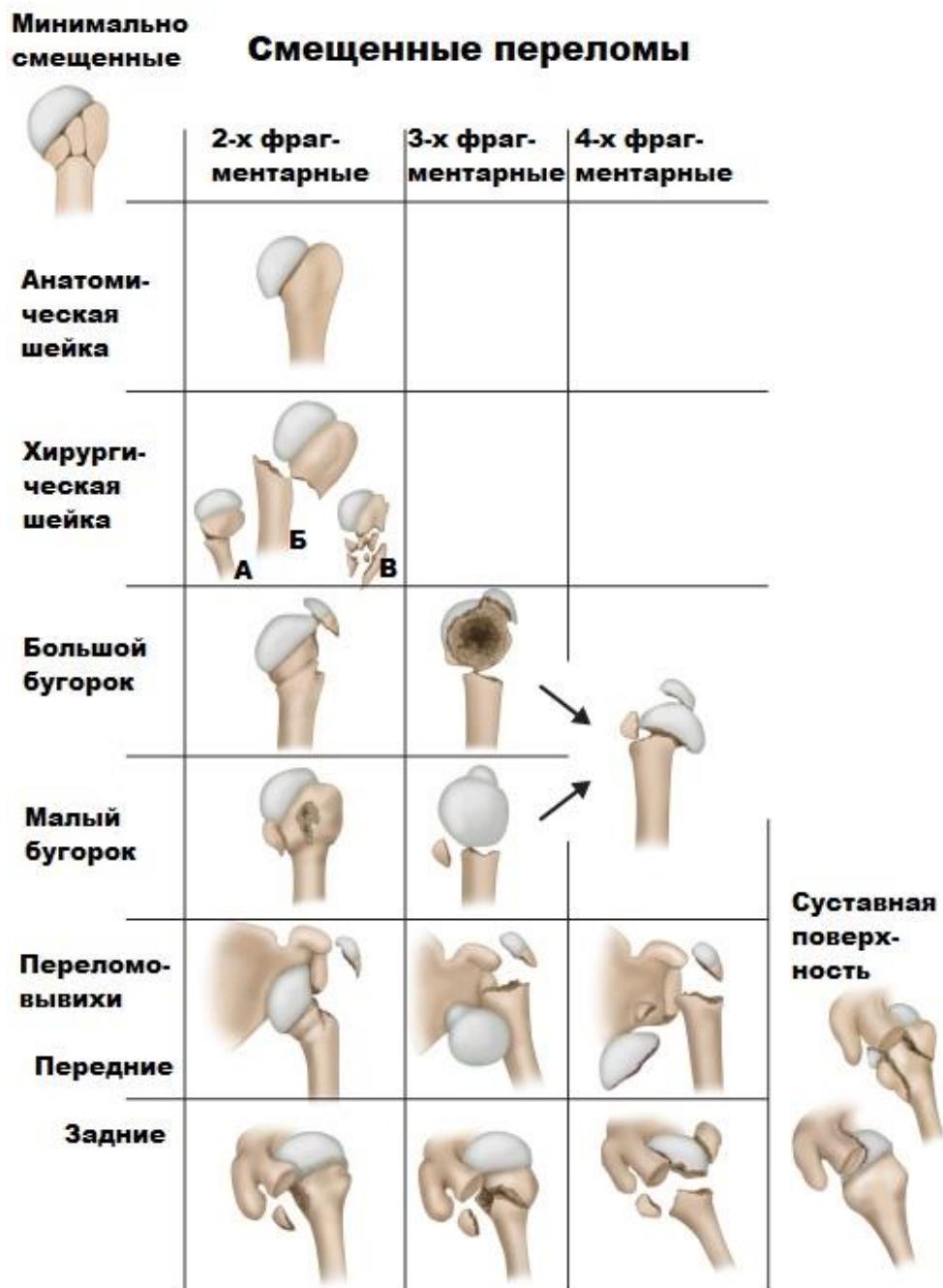


Рисунок 1.1 – Классификация переломов проксимального отдела плеча по Neer: I - анатомическая шейка, II - хирургическая шейка, III - большой бугорок, IV - малый бугорок, V - переломо-вывихи: передний, задний

Часто головка плечевой кости при травмах ввиду дислокации или многофрагментарного характера перелома теряет элементы кровоснабжения и хряща. Из-за этого возникают некрозы и внутрисуставной коллапс, что свойственно для 3-х и 4-х фрагментарных переломов более чем в 30% случаев [87]. Еще одним

фактором, влияющим на васкуляризацию головки плечевой кости после перелома, является остающийся диастаз между отломками после фиксации [48]. Предикторы и способы профилактики асептического некроза до сих пор служат объектом дискуссий и споров. Hertel R. с соавт. выявили рентгенологические критерии ишемии: длина дорсомедиальной метафизарной экстензии сегмента головки, целостность медиальной дуги и тип перелома по бинарной классификации «Lego» [69]. Выделяют 12 типов прохождения линии перелома, и, соответственно, чем выше число, тем больший риск нарушения перфузии [58]. Особую важность имеет медиальная дуга плечевой кости и медиальная колонна, которые определяют не только васкуляризацию, но и ротационную и угловую стабильности [4, 42]. Другим предиктором развития АВН некоторые исследователи считают повреждение латеральной восходящей ветви передней огибающей плечевую кость артерии, которая осуществляет 35.7% кровоснабжения головки плечевой кости [73]. Поскольку задняя огибающая головку плечевой кости артерия может повреждаться при переломах, происходит потеря 64.3% кровоснабжения, и, по мнению Hettrich C.M. с соавт. (2010), оставшееся питание остается за латеральной восходящей ветвью [70]. Она проходит в небольшом отверстии в верхней части межбугорковой борозды. Тем самым, манипуляции в области переднелатерального края головки плечевой кости, например, установка пластины при остеосинтезе, а также манипуляции над сухожилием длинной головки бицепса могут приводить к её повреждению, о чем сообщали Sergent A. и Keough N. с соавт. в 2019 году [74, 100].

Потеря медиальной кортикальной опоры, описанная Gardner M. J. с соавт. (2007), является ключевым осложнением, описанным в последнее десятилетие [60]. Медиальная колонна постоянно под нагрузкой вне зависимости от вектора силы: аксиальная нагрузка, горизонтальный сдвиг или крутящий момент. Оказалось, что имеются региональные различия в распределении кортикальной кости в медиальной колонне. Изменения поверхности кортикальной кости демонстрируют значительные возрастные и гендерные различия. Самая толстая и плотная кость была обнаружена в проксимальной части медиальной колонны у испытуемых в возрасте 20-40 лет. После 40 лет отмечалось снижение плотности [114].

Следовательно, чем старше пациент, тем выше риски потери медиальной опоры с изменением медиальной кортикальной дуги, что приводит к повышению рисков АВН. Не только нарушение васкуляризации, разрыв вращательной манжеты плеча и варус-коллапс возможны, как результат травмы. Вальгусное положение головки с медиальным сдвигом диафиза плечевой кости после перелома может приводить к повреждению периферических нервов. Об этом в своей работе указывал Visser C.P.J. с соавт.: риск повреждения срединного нерва в четыре раза выше у пациентов со смещеными переломами проксимального отдела плечевой кости (Neer II, III и IV) по сравнению с несмещеными переломами (Neer I) [49, 112].

Исследования нормальной и патологической анатомии и биомеханики плеча у пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости являются актуальными не только с практической точки зрения, но и ввиду эры развития высоких технологий. Теперь, все чаще применяется компьютерный анализ биомеханических предпосылок неудовлетворительных результатов лечения. Кадаверные и анатомические исследования выходят на второй план, поскольку не позволяют в должной мере изучить тонкости процессов, происходящих в суставах, в частности в случаях травматизма. Таким образом, исследование патологической биомеханики со стороны механизма травмы, вида оперативного лечения и реабилитационного периода является одним из основных векторов развития в травматологии и ортопедии в настоящее время. При изучении биомеханики нагрузок на область перелома в условиях остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости наблюдаются более сложные взаимодействия, которые во многом не позволяют проводить оценку макроскопически и требуют дополнительных методов исследований и визуализаций. К тому же, как было указано ранее, нагрузки, прикладываемые к металлоконструкциям фиксации переломов *in vivo*, являются циклическими и переменными по своей природе. Обсуждение физико-математических свойств имплантов и их фиксации показывает трудно моделируемые на кадаверных материалах ситуации и исходы.

## **1.2 Физико-математический расчет при остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости**

Фиксация проксимального отдела плечевой кости имплантом — сложная и многофакторная проблема, при этом основными факторами риска являются возраст, минеральная плотность костной ткани, сложность перелома и качество репозиции [16, 19, 45].

Еще одной проблемой для определения стратегии фиксации является крайне неоднородное распределение костной ткани в головке плечевой кости [6, 67, 96]. При остеопорозе фиксация перелома проксимального отдела плечевой кости может привести к замедленной консолидации и к неправильному сращению или несращению, что может стать причиной вырывания винта или его перфорации в полость сустава [106]. Tingart M.J. с соавт. [108] оценили переднезадние рентгенограммы проксимального отдела плечевой кости, чтобы провести измерения толщины кортикального слоя. Исследователи сравнили их с прямыми анатомическими измерениями толщины кортикального слоя и минеральной плотности костной ткани при сканировании с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. Рентгенографические измерения проводились на двух уровнях: первый уровень находился в диафизе плечевой кости, где эндоостальные границы медиальной и латеральной кортикальных слоев параллельны, второй уровень находился на 20 мм дистальнее первого уровня. Их результаты показали, что образцы с комбинированной толщиной кортикального слоя менее 4 мм имели значительно более низкую минеральную плотность, чем образцы с комбинированной толщиной кортикального слоя более 4 мм. Они также обнаружили, что образцы у пациентов старше 70 лет имели значительно более низкую среднюю толщину кортикального слоя, чем образцы моложе 70 лет. Это исследование показало, что возрастные различия качества костной ткани меняют характер перелома, а также влияют на отдаленные результаты оперативного лечения ввиду разного качества формирования костной мозоли [108].

Пластины с угловой стабильностью стали значительным достижением в хирургическом лечении переломов и, по-видимому, идеально подходят для остеопоротических или многофрагментарных переломов проксимального отдела плечевой кости [101-103]. Поскольку биомеханически блокированный винт ведет себя как единое целое с пластиной, прочность вырывания увеличивается, поскольку несколько заблокированных винтов в разных плоскостях действуют синергетически, чтобы оставаться в кости [101-104]. Вследствие того, что блокированная пластина функционирует как внутренний фиксатор, а не полагается на трение для стабилизации фрагментов перелома, пластину можно разместить оптимально как с точки зрения анатомии, так и с точки зрения сохранения периостального кровоснабжения [104, 117]. Биомеханические исследования переломов проксимального отдела плечевой кости неизменно показывают, что блокированные пластины обеспечивают большую жесткость фиксации перелома [52, 113, 117], а также обеспечивают большую стабильность во время циклических испытаний [52, 95, 99] по сравнению с неблокируемыми системами восстановления. Однако, клинические исследования показали, что одним из типичных видов неудач является смещение проксимального фрагмента в варусную позицию с последующим прободением винта в полость сустава [83]. Почему это может происходить? Необходимо прежде рассмотреть аспекты накостного остеосинтеза.

Импланты для фиксации перелома разработаны и применяются для предоставления пациенту двух преимуществ. Первое — создание соответствующих механических и биологических условий в месте перелома для заживления. Второе — обеспечение достаточной стабильности, чтобы позволить раннее функциональное использование поврежденной конечности. Если перелом простой, и основные фрагменты могут быть идеально репонированы хирургическим путем с использованием импланта, то создается ситуация «абсолютной стабильности», при которой кость будет заживать без образования мозоли. Распределение нагрузки между концами кости от линии перелома также защищает имплант от перенапряжения. Чаще всего в месте перелома после

операции будет существовать зазор или некоторое минимальное смещение отломков. Фиксация таких переломов с помощью пластины создает ситуацию «относительной стабильности» [3].

При соответствующих механических условиях, т. е. межфрагментарная деформация в щели перелома, мозоль постепенно формируется (грануляционная ткань, хрящ, затем кость) [88], что в конечном итоге приводит к разгрузке имплантата [47, 53, 54]. Умеренные компрессионные осевые деформации (менее 40 % деформации) способствуют заживлению, тогда как низкие или высокие сдвиговые деформации усугубляют консолидацию [55]. Во время заживления относительно стабильной конструкции, особенно у пациентов с нарушенной биологией эндохондрального и интрамемброзного формирования кости, имплант подвергается значительной циклической нагрузке, и может произойти его поломка до сращения кости. Многие исследования на людях и животных подтвердили важность межфрагментарной компрессии при заживлении переломов [53, 55, 56].

В послеоперационном периоде возможно смещение головки плечевой кости в варусном направлении, о чем сообщал Gardner M.J. с соавт. [60]. Авторы исследования предположили, что анатомическая репозиция медиальной колонны и медиальные блокирующие винты могут обеспечить стабильную медиальную опорную колонну для создания ситуации распределения нагрузки и минимизации сил на границе винт-кость. В другом исследовании авторы указывают, что если хирург не может достичь анатомической репозиции и восстановления медиальной колонны интраоперационно, то следует установить, как можно больше медиальных дополнительных винтов для восстановления медиальной механической стабильности [118]. Об этом также сообщают Shen P. с соавт., рекомендуя поддержку средне-нижней области головки плечевой кости [101]. Вместе с тем, убедительных данных за увеличение степени стабильности фиксации, а также рисков развития поломки и миграции фиксаторов при использовании дополнительных винтов до сих пор получено не было. В настоящее время стабильность конструкций была улучшена, а напряжение имплантата снижено за счет возможности комбинирования латеральной и медиальной пластин [65], размещения

калькарных винтов, прицельного выставления медиального кортикального контакта [82]. Метод конечного элементного анализа позволяет ускорить исследования и разработки в направлении улучшения дизайна имплантов и стратегий повышения их стабильности [45, 46].

Конечно-элементный анализ имеет два основных преимущества перед экспериментальными исследованиями. Первое преимущество присуще вычислительным моделям: они облегчают полную проверку состава модели, а также прогнозируемых результатов по всей конструкции. В экспериментальных моделях определенные аспекты, такие как поведение материала (внутренние деформации), затруднены или невозможны [85]. Второе преимущество этого метода заключается в том, что он может быть эффективным и недорогим. Возможность исследовать различные конфигурации имплантов одной и той же кости является одним из ключевых преимуществ моделирования. Несмотря на это, нет исследований, демонстрирующих анализ нагрузок на металлофиксаторы в раннем и отдаленном послеоперационном периодах.

В связи с тем, что Gardner M.J. с соавт. [60], акцентировали свои исследования на анализе медиальной колонны, другие работы стали посвящать проблемам, происходящим со стороны установленной пластины. Ученые обратили внимание на изменения, которые отражаются на металлофиксаторе при нагрузке. Результаты указывают на больший вектор нагрузки на среднюю треть пластины (рисунок 1.2) [81, 116].

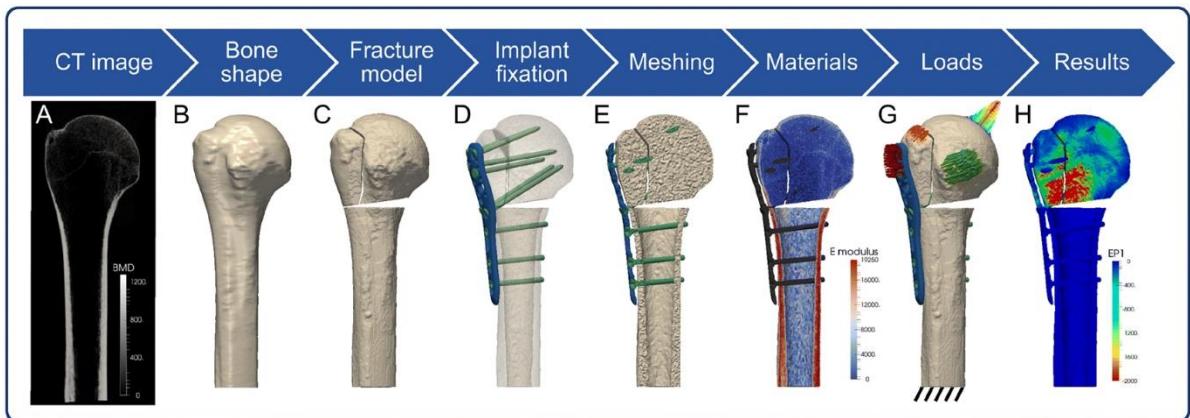


Рисунок 1.2 – Обзор функций виртуального тестового процесса и адаптации данных в процессе создания биомеханической модели для конечно-элементного анализа по Varga P. с соавт. [110]

С помощью физико-математических расчетов показано, что увеличение расстояния между винтами приводит к увеличению нагрузки на пластину, а, следовательно, усиливает её деформацию и способствует наклону/смещению фрагментов относительно линии перелома [84, 97]. Консолидация перелома в свою очередь уменьшает эту силу, тем самым уменьшает нагрузку на пластину и её изгиб. Однако, результаты расчетов нагрузок через пластину на кость с сниженной плотностью на фоне остеопороза или при многофрагментарном переломе является достаточно трудоемким и индивидуальным для каждого пациента. Вместе с тем, достаточно явно встает вопрос о проблеме варусного смещения проксимального фрагмента в условиях накостного остеосинтеза. Как было указано ранее, дельтопекторальный и минимально инвазивный «антеролатеральный» доступы при накостном остеосинтезе активно обсуждаются с целью выявления из них наиболее перспективного и безопасного метода [22]. Насколько минидоступ может повлиять на снижение рисков осложнений в раннем и отдаленном послеоперационных периодах?

### **1.3 Дельтопекторальный и минимально инвазивный оперативные доступы к плечевому суставу**

Проведенные исследования показывают, что остеосинтез при помощи пластин с угловой стабильностью является предпочтительной технологией даже при нестабильных 3-х и 4-х фрагментарных переломах, а также при остеопорозной дегенерации костной ткани [36, 64]. Теперь, возможность формирования анатомической репозиции, обеспечения угловой стабильности, а также ранней мобилизации являются приоритетом у всех типов пациентов [7]. Вместе с тем, появились новые вопросы: какой хирургический доступ оптимален, наименее травматичен и, в случае осложненного характера перелома, позволяет обеспечить конверсию в эндопротезирование?

В литературе фигурируют два основных доступа: минимально инвазивный «антеролатеральный» доступ, а также соответствующий ему минимально инвазивный накостный остеосинтез (МИНО), и открытая репозиция и фиксация пластиной (ОРИФ), применяемая с использованием дельтопекторального доступа. Несмотря на наличие множества способов [61], как было сказано ранее, «золотой стандарт» остеосинтеза плечевой кости – это ОРИФ. С точки зрения анатомии дельтопекторальный доступ приемлемо позволяет визуализировать плечевой сустав, однако, с развитием технологий авторы исследований пришли к минимально инвазивному варианту – антеролатеральное расщепление порции дельтовидной мышцы. Имплант в случае дельтопекторального доступа при полной его визуализации устанавливается и фиксируется к кости, в случае же минимально инвазивного доступа – имплант антероградно проводят через небольшой проксимальный разрез и дистально в искусственно сформированный костно-мышечный канал. Далее дистально блокируют через направитель и 2-3 минидоступа для винтов.

До сих пор нет единого мнения насчет явного преимущества одного из этих доступов при различных клинических ситуациях. Сообщается, что минимально инвазивный остеосинтез является более щадящим способом, обеспечивает

сохранение кровоснабжения головки плечевой кости, меньшую продолжительность операции и лучший косметический результат [57]. Однако, способ открытой репозиции и фиксации, позволяет свободнее манипулировать отломками и не требует расщепления дельтовидной мышцы при доступе.

Исследование результатов накостного остеосинтеза показало, что за 2011-2013 года было выявлено значительно меньше осложнений из-за потери фиксации (5,7% против 12,8%,  $p=0,006$ ) и уменьшение общей частоты ревизий (3,2% против 15,3%,  $p=0,00004$ ) по сравнению с более ранними исследованиями (2002-2004 года) [63]. Улучшение результатов лечения способом открытой репозиции и накостного остеосинтеза за последние годы, является многофакторным прогрессом.

Превалирующее количество авторов ввиду развития технологий отдает предпочтения минимально инвазивному доступу [30-32, 62, 79, 98]. Однако, важно проследить противоречия разных исследований. Так, в работе Нерр Р. с соавт. [67] были выявлены лучшие функциональные результаты через 12 месяцев после применения способа ОРИФ по сравнению с МИНО [68]. Авторы предположили долгосрочное преимущество для группы дельтопекторального доступа благодаря сохранению интактности дельтовидной мышцы как функциональной единицы, которая остается нетронутой, а при минимально инвазивном доступе дельтовидная мышца расщеплена и может быть изменена формированием рубца. В противоположность этому многие исследователи указывали, что меньший травматизм заключается в минимально инвазивном доступе, поскольку волокна мышцы раздвигаются, а не повреждаются [31]. Эта теория была вынесена на обсуждение в статье Fischer C. с соавт. [59], которые подвергли сомнению гипотезу о том, что МИНО лучше сохраняет нативную структуру мышцы ввиду малого травматизма. При помощи ультразвукового исследования с контрастным усилением, которое позволяет проанализировать перфузию микрососудистого русла размером 2-7 нм, электронейромиографии и отдаленной оценки объема движений, было показано, что по этим показателям ОРИФ и МИНО сопоставимы.

Результаты сравнения двух крупных исследований способов накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости, а именно 148 и 107

пациентов, показали АВН в 10 случаях МИНО / 3 случаях ОРИФ (по классификации Neer III-IV) и 0 МИНО / 1 ОРИФ (по классификации Neer II), соответственно исследованиям [37, 105]. Остальные статьи не так ярко демонстрируют разницу в количествах осложнений АВН, либо вовсе указывают на равенство в этих показателях при обоих способах. Возможно, на это влияет тот факт, что меньший процент манипуляций в переднелатеральном квадранте при МИНО позволяет сохранить питание посредством латеральной восходящей ветви передней огибающей плечевую кость артерии.

Анализируя результаты применения МИНО, авторы исследований сообщают, что отмечается меньшее время операции, меньшая кровопотеря, меньшая выраженность боли в раннем послеоперационном периоде и лучшие результаты по объему движений и шкале Constant Shoulder Score [75, 76, 93, 105]. С точки зрения улучшения гемодинамики кровотока ввиду меньшей травматизации тканей, сохранения объема циркулирующей крови и больших предпосылок для успешной реабилитации МИНО имеет достаточно большое количество физиологических преимуществ для снижения рисков АВН. Вместе с тем, исследование Da Silva T. с соавт., поясняет, что время операции не влияет на развитие АВН, а преимущественно на этом сказывается сложность перелома (по классификации Neer) и нарушение медиальной опоры, которые увеличивают риск АВН на 32% [51]. Развитие других осложнений: перфорация (прободение) винта в сустав, несращение, субакромиальный импиджмент, больше зависят от характера перелома, чем от применяемого доступа [23].

Результаты недавнего сравнительного исследования являются показательным промежуточным итогом настоящего рассмотрения двух способов остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости. Работа Buchmann L. с соавт. [38] была проведена по принципу выделения из 418 пациентов 198 с трехфрагментарными переломами. По сравнению с группой МИНО группа ОРИФ имела в 2,6 раз более высокий риск развития местных осложнений. Частота послеоперационных поражений нервов была сопоставима, как и частота осложнений со стороны мягких тканей. Риск несращения и АВН был в 4,5 раза

выше в группе ОРИФ по сравнению с группой МИНО. Вместе с тем, отдельно рассматривая осложнения способа ОРИФ можно отметить риски развития нестабильности плечевого сустава [34, 35], которые не отмечаются при МИНО. Вероятно, с этим может быть связана передняя диссекция вращательной манжеты, а также повреждение переднего капсулочно-лабрального комплекса. Кроме того, по результатам проведенного метаанализа и систематического обзора было выявлено, что первые месяцы после операции МИНО имеет лучшие функциональные результаты и меньший болевой синдром [23].

При сравнительном анализе изучаемых способов накостного остеосинтеза сопоставимыми показателями являются перфорация винта в сустав, несращение, субакромиальный импиджмент, которые по большей части зависят от характера перелома, чем от доступа и способа остеосинтеза.

В процессе анализа современной литературы, освещающей проблемы накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости, получены следующие выводы:

1. МИНО является малотравматичным и перспективным способом лечения переломов проксимального отдела плечевой кости и позволяет выполнять быстрее оперативное лечение, минимально повреждать окружающие ткани, обеспечивать приемлемую репозицию отломков, что также формирует предпосылки к снижению болевого синдрома и ускорению разработки движений в раннем послеоперационном периоде. МИНО является наиболее перспективным способом накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости, поскольку объединяет в себе лучшие качества открытой репозиции и фиксации пластиной и применения интрамедуллярных систем.

2. С другой стороны, при многофрагментарном и/или осложненном характере перелома для большей визуализации рекомендуют применять ОРИФ при помощи дельтопекторального доступа. Сравнение этих двух способов теперь является ключевой темой для обсуждения в области лечения переломов проксимального отдела плечевой кости.

3. Большинство недостатков открытой репозиции и фиксации связаны с широким обнажением костных фрагментов / диссекцией мягких тканей;

4. Современные технологии накостного остеосинтеза позволяют добиться сопоставимых результатов с эндопротезированием плечевого сустава при переломах проксимального отдела плечевой кости;

5. Конечно-элементный анализ и физико-математический обзор проблем накостного остеосинтеза указывают на перегрузочные изгибы пластины и винтов, приводящие к развитию наиболее частых осложнений: перфорации винта в сустав, варусному смещению проксимального фрагмента и поломке пластины [1, 2, 5, 8, 11-13, 24].

Наиболее значимой необходимо считать задачу снижения частоты неудовлетворительных анатомо-функциональных результатов. Кроме того, нет единого мнения о применении ОРИФ и МИНО при разных типах переломов проксимального отдела плечевой кости. Неудовлетворительные результаты как правило, связаны с недооценкой механизма повреждения, степени смещения отломков, травматизации мягких тканей при выполнении операции, а также агрессивной ранней реабилитацией, которая увеличивает нагрузку на металлофиксатор и создает предпосылки к расшатыванию фрагментов.

Требуют совершенствования технологии стабильной фиксации отломков, что определяет возможности и эффективность реабилитационного периода. Отсутствие точного понимания биомеханических влияний нагрузок в применяемых металлофиксаторах не позволяет разработать реабилитационную программу, щадящую опасные зоны остеосинтеза в раннем послеоперационном периоде.

Проведенный анализ современной отечественной и зарубежной литературы демонстрирует необходимость совершенствования знаний в области накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости, в частности, применения минимально инвазивного доступа, ввиду наличия спорных и неясных вопросов.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### 2.1 Дизайн исследования

Представленная диссертационная работа по дизайну являлась одноцентровым ретроспективно-проспективным сравнительным рандомизированным клиническим и экспериментальным исследованием. Исследовательская работа состояла из двух взаимосвязанных разделов: клинического и экспериментального.

Всего в исследовании было проанализировано 153 клинических случая оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости при помощи накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью. Было выделено три последовательных этапа.

На первом этапе проводили ретроспективный анализ 115 пациентов, получивших перелом проксимального отдела плечевой кости в результате травм. Показания к оперативному лечению определяли по результатам анамнеза травмы и жизни, клинического, лабораторного и инструментального обследования. Характер переломов, отобранных для оперативного лечения, соответствовал следующим критериям:

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, медиального кортикального слоя;

2. Переломы с расхождением отломков более чем на 10 мм и угловой деформацией более чем 45 градусов.

Оперативное лечение выполнялось на базе травматолого-ортопедического отделения ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ г. Москва в период 2015-2020 годов. 73 пациента являлись представителями «Основной группы 1», в рамках которой проводили

оперативное лечение по способу МИНО. Оставшиеся 42 пациента представляли «Группу сравнения 1» и были оперированы при помощи способа ОРИФ. У пациентов оценивали операционный доступ к проксимальному отделу плечевой кости соответственно способу накостного остеосинтеза (минимально инвазивный «антеролатеральный» и дельтопекторальный доступы), и функцию плечевого сустава. Оценку проводили при помощи Ванкуверской шкалы (Vancouver Scar Scale, VSS), а также рассматривали размеры хирургического рубца при обоих способах накостного остеосинтеза. Функцию плечевого сустава оценивали при помощи опросников Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure (DASH) и Constant shoulder score (CSS).

На втором этапе проводили экспериментальную работу с использованием методов 3D-компьютерного моделирования переломов проксимального отдела плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза. Далее полученные объемные трехмерные модели подвергали конечно-элементному анализу при помощи программно-аналитических комплексов Catia, SolidWorks. С точки зрения оценки статических нагрузок на проксимальный отдел плечевой кости и пластину после накостного остеосинтеза выполняли анализ моделей раннего послеоперационного периода, когда нет сформировавшейся костной мозоли, и моделировали самые частые варианты фиксации пластины. Для оценки нагрузок на пластину и плечевую кость в отдаленном периоде моделировали консолидированный перелом в условиях накостного остеосинтеза.

Оба раздела исследования позволили с разных сторон проанализировать накостный остеосинтез проксимального отдела плечевой кости, а также определить показания для МИНО, выявить риски послеоперационных осложнений, которые могли ухудшить результаты оперативного лечения, а также предложить способы их устранения. Учитывая исследованные предпосылки к развитию неудовлетворительных результатов, был создан алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости, а также дифференцированный реабилитационный протокол для

клинических ситуаций плотного межфрагментарного контакта и мостовидной фиксации. Последовательность этапов отражена на схеме (рисунок 2.1).

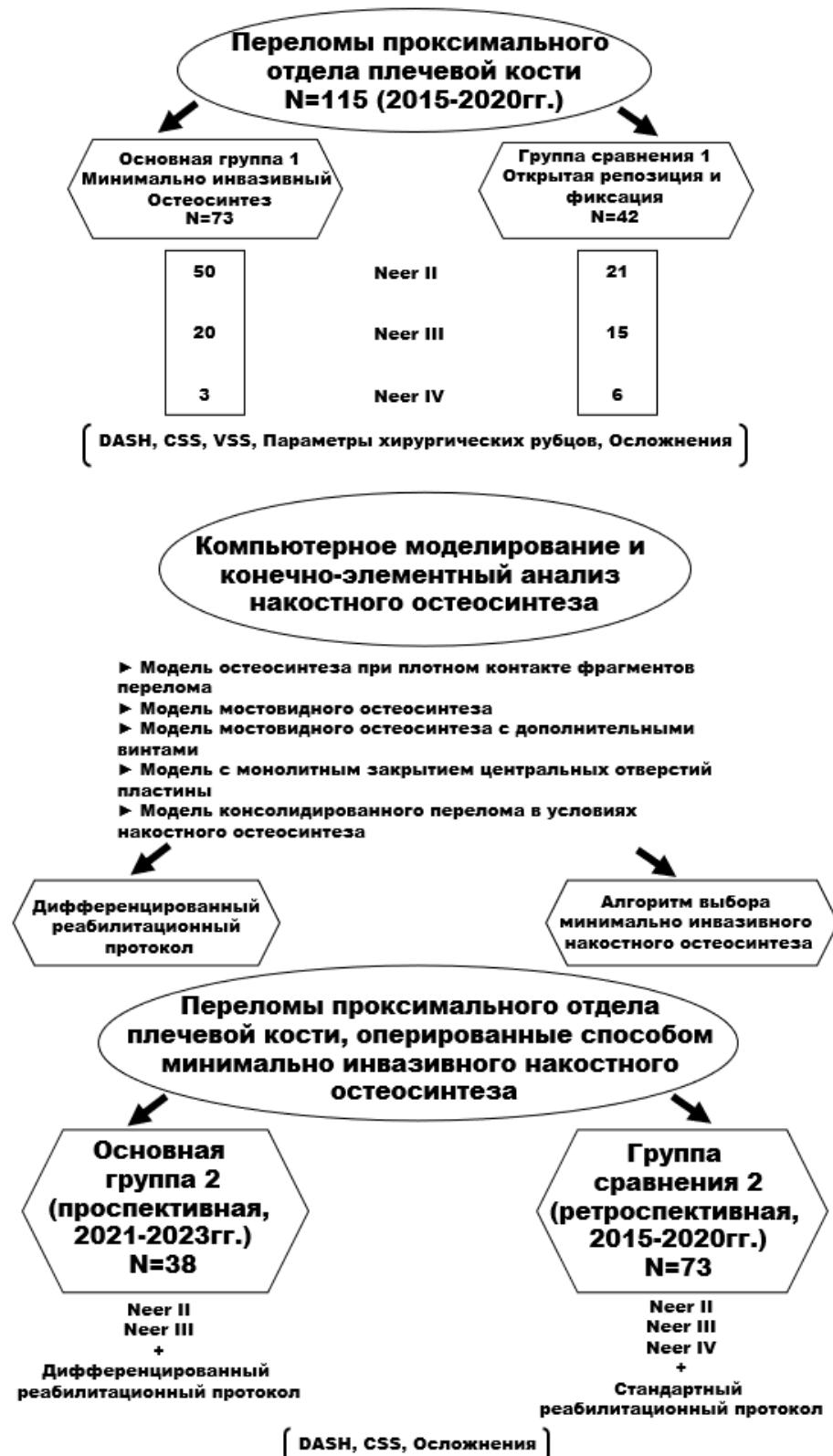


Рисунок 2.1 – Дизайн исследования

На третьем этапе с учетом алгоритма выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза и дифференцированного реабилитационного протокола были прооперированы пациенты в количестве 38 человек на базе ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ г. Москва в период 2021-2023 годов. Эта группа была обозначена «Основная группа 2». Эта группа была подвержена сравнительному анализу с ретроспективной группой «Основная группа 1» в количестве 73 человек из когорты пациентов первого этапа с переломами Neer II, Neer III и Neer IV, которых вели после операции с применением соответствующего результатам систематического обзора протоколов реабилитации [39]. На третьем этапе исследования эта группа была обозначена «Группа сравнения 2».

Проведенное диссертационное исследования по дизайну, информированию пациентов и / или их законных представителей, проводимым лечебным, профилактическим и диагностическим мероприятиям соответствовало всем этическим стандартам биоэтического комитета МЗ РФ разработанным в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной ассоциации «этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации, утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.23 №266». Все пациенты дали информированное согласие на участие в исследовании. Диссертационное исследование было рассмотрено и одобрено в локальном этическом комитете ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет) 15.04.24 года.

## **2.2 Общая характеристика пациентов ретроспективного исследования**

Работа была выполнена на основе данных клинико-рентгенологического анализа 115 пациентов с закрытыми переломами проксимального отдела плечевой кости, госпитализированных и прооперированных в травматолого-ортопедическом отделении ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ г. Москва за период 2015-2020 года. У всех

пациентов перед выполнением исследований были взяты информированные добровольные согласия на медицинские вмешательства.

Критериями включения пациентов в это исследование были:

- возраст старше 18 лет
- наличие закрытого перелома проксимального отдела плечевой кости (давность травмы до 1 недели)
- смещенные и/или нестабильные (оскольчатые) переломы проксимального отдела плечевой кости

Критериями невключения в исследование были:

- психические отклонения
  - наличие декомпенсированных хронических заболеваний
  - несмещенные стабильные переломы проксимального отдела плечевой кости
  - ипсилатеральные повреждения верхней конечности
  - давность травмы более 1 недели
  - переломовывихи проксимального отдела плечевой кости
  - политравма
  - наличие травматических сосудисто-неврологических повреждений
- Критериями исключения из исследования были:
- неявка на контрольные осмотры
  - некомплиантность пациента, нарушение режима и рекомендаций
  - смерть от сопутствующих заболеваний

Все 115 пациентов соответствовали критериям включения в исследование.

Отмечалось больше пациентов женского пола (83 женщины – 72,2%). Чаще травмам плечевого сустава подвергались пациенты пожилого возраста (60-74 года): женщины (42,2%), мужчины (40,6%), всего 48 пациентов из 115 (41,7%).

Было выделено 2 группы:

В «Основную группу 1» вошли 73 пациента, которым был выполнен МИНО при помощи антеролатерального доступа. Среди пациентов этой группы

преобладали женщины пожилого возраста (56 пациентов), средний возраст был  $56,6 \pm 14,7$  лет.

В «Группу сравнения 1» вошли 42 пациента, которым была выполнена ОРИФ при помощи дельтопекторального доступа. Среди пациентов преобладали женщины пожилого возраста (11 пациентов), средний возраст был  $62,3 \pm 12,6$  лет. Общая медиана при оценке возрастов была равна 60 (минимальный возраст 27, нижний quartиль 49, верхний quartиль 69, максимальный возраст 88), что позволило выделить подгруппы пациентов до 60-ти лет и старше 60-ти лет для оценки особенностей результатов их лечения. Наибольшее количество наблюдаемых пациентов были прооперированы в 2020 году – 38 случаев (33 %). Пациенты были оценены не менее, чем через 12 месяцев с момента операции. Средний период наблюдения в «Основной группе 1» составил  $35,1 \pm 20$  месяцев, в «Группе сравнения 1» –  $35,9 \pm 24,8$  месяцев.

Наиболее часто пациентам выполняли накостный остеосинтез в пределах двух суток после травмы (72 случая, 62,6%). Процентное соотношение пациентов обоих способов накостного остеосинтеза эквивалентно по срокам выполнения оперативного вмешательства (ОРИФ  $2,3 \pm 2,6$  и МИНО  $2 \pm 1,8$  дней,  $p=0,952$ ).

Из 115 переломов проксимального отдела плечевой кости было 9 четырехфрагментарных переломов (оперированы способом ОРИФ – 6, МИНО – 3), 35 трехфрагментарных (20 оперированы МИНО и 15 оперированы ОРИФ) и 71 двухфрагментарный перелом (50 оперированы МИНО и 21 оперированы ОРИФ) по классификации Neer. Итого, по способу МИНО 73 операции, из них женщины 56, мужчины 17; по способу ОРИФ 42: женщины 27, мужчины 15. Результаты представлены в сравнительной таблице (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – 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%)	

Средний возраст пациентов («Группа сравнения 1»  $62,3 \pm 12,6$  и «Основная группа 1»  $56,6 \pm 14,7$ ), медиана – 60 лет (таблица 2.2 и 2.3).

Таблица 2.2 – Распределение пациентов возрастных групп старше и младше 60ти лет по полу

Пол	Возрастные группы		Уровень Р, (df=1)
	До 60-ти лет, (N=53)	60 лет и более, (N=62)	
Женский	36 (67,9%)	47 (75,8%)	0,347
Мужской	17 (32,1%)	15 (24,2%)	

Таблица 2.3 – Встречаемость типов перелома по классификации Neer в зависимости от возрастных групп пациентов

Тип перелома	Возрастные группы		Уровень Р, (df=2)
	До 60-ти лет, (N=53)	60 лет и более, (N=62)	
Neer II	37 (69,8%)	34 (54,8%)	0,252
Neer III	13 (24,5%)	22 (35,5%)	
Neer IV	3 (5,7%)	6 (9,7%)	

## 2.3 Общая характеристика пациентов проспективного исследования

Для оценки эффективности применения алгоритма выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза и дифференцированного реабилитационного протокола было проведено проспективное исследование. Прооперированы 38 пациентов в период 2021-2023 годов на базе ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ. Обозначена эта группа была «Основная группа 2». В эту группу вошли случаи двух- и трехфрагментарных переломов, которых вели по дифференцированному реабилитационному протоколу с учетом клинического и экспериментального исследований. У всех пациентов проспективной группы перед выполнением исследований были взяты информированные добровольные согласия на медицинские вмешательства. Отмечалось большее количество пациентов женского пола: 27 женщин (71%). Чаще от переломов проксимального отдела плечевой кости страдали пациенты пожилого возраста (60-74 года) 52,6%, средний возраст составил  $57,3 \pm 13,9$  лет.

По результатам ретроспективного исследования (115 пациентов) в период 2015-2020гг., была выделена когорта пациентов, оперированных способом МИНО, с применением реабилитационного протокола в соответствии с результатами авторов систематического обзора [39]. Эти 73 пациента составили ретроспективную группу. Эту группу обозначили «Группа сравнения 2».

В указанных группах исследования закрытые переломы проксимального отдела плечевой кости чаще встречались у женщин (83 пациентки (74,8%). Группы пациентов до 60 лет и старше 60 лет эквивалентно были распределены по алгоритмам выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза (рисунок 2.2).

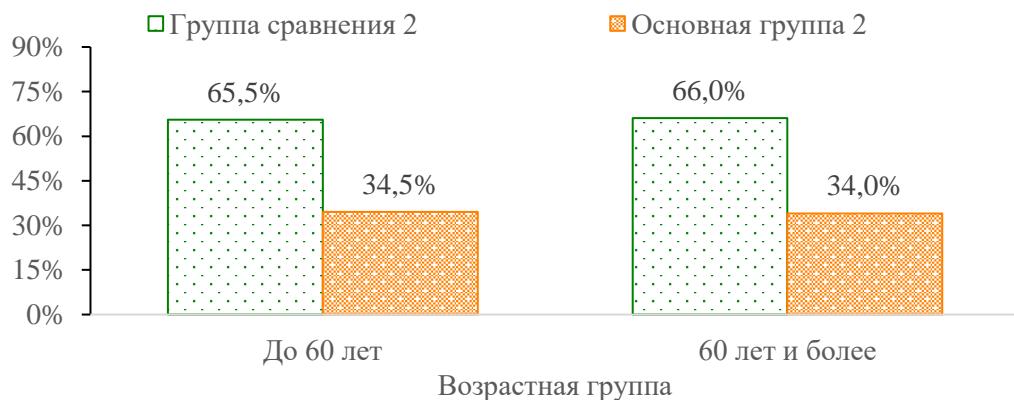


Рисунок 2.2 – Распределения процентных долей пациентов младше и старше 60ти по виду исследуемых групп пациентов накостного остеосинтеза

В дальнейшем было проведено сравнение эффективности алгоритмов минимально инвазивного накостного остеосинтеза и реабилитационных подходов.

## 2.4 Методы исследования

Был применен комплексный подход к обследованию пациентов, включающий в себя клинический осмотр и инструментальные методы исследования.

## Клиническое обследование

Первичный осмотр происходил на базе приемного отделения в случае экстренного обращения или в условиях поликлинического кабинета при обращении пациента в отсроченном порядке. Пациенты предъявляли жалобы на боли в области травмированного плеча, нарастающую отечность, подкожную гематому, ограничение объема движений и деформацию контура сустава. Особое внимание уделяли сбору анамнеза для оценки механизма и тяжести травмы. Чаще всего механизмом являлось падение на отведенную или приведенную в плечевом суставе верхнюю конечность, несколько реже механизмом травмы был прямой удар о тупой предмет в области проксимального отдела плеча.

Физикальный осмотр поврежденного плеча начинали с осмотра контраполатеральной верхней конечности и её функции. При осмотре

травмированной верхней конечности отмечалась слаженность контура плечевого сустава вследствие нарастающей отечности, выраженной подкожной гематомы в диапазоне от акромиальной части плеча до средней, а иногда и нижней трети плеча. В ряде случаев отмечалась угловая деформация в области верхней трети плечевой кости, отчетливо была видна субакромиальная борозда. Травмированная верхняя конечность занимала вынужденное положение: приведенная и ротированная кнутри в плечевом суставе, согнутая в локтевом суставе при поддержке за предплечье при помощи здоровой руки. При пальпации отмечалась резкая болезненность в области проксимального отдела плечевой кости, области акромиона и/или бицеппитальной борозды. При легких пассивных движениях выявляли крепитацию отломков, усиление болей, рефлекторный мышечный спазм. Положительными являлись тесты осевой компрессии и тракции травмированной верхней конечности.

В послеоперационном периоде исследовали активные и пассивные движения: отведение, приведение, сгибание, разгибание, наружная и внутренняя ротация, круговые движения при помощи стандартного угломера (рисунок 2.3-2.5). Наиболее используемым в настоящее время является «ноль метод» измерения движений в суставах [104], согласно которому амплитуда движений измеряется от стандартного нейтрального нулевого положения: туловище выпрямлено, стопы обращены вперед, верхние конечности опущены вдоль туловища, ладони во фронтальной плоскости обращены кпереди.

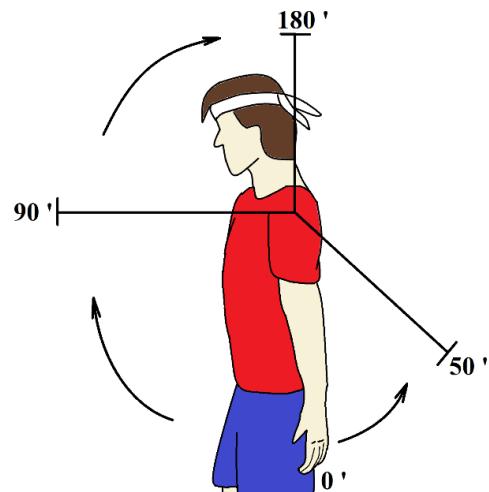


Рисунок 2.3 – Сгибание и разгибание в плечевом суставе (схематическое изображение от автора)

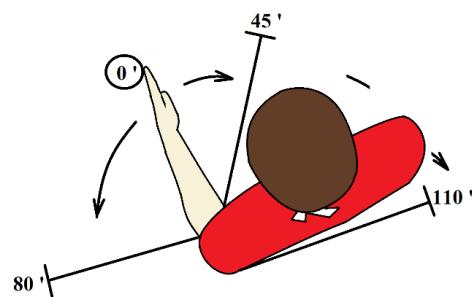


Рисунок 2.4 – Наружная и внутренняя ротации (схематическое изображение от автора)

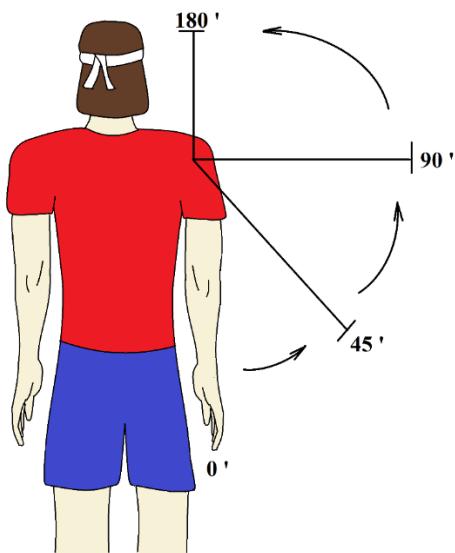


Рисунок 2.5 – Отведение и приведение в плечевом суставе (схематическое изображение от автора)

В зависимости от типа перелома, выраженности и направления смещения костных отломков на фоне нарастающего отека мягких тканей, акцентированно обращали внимание на возможное развитие признаков нейропатии.

Всем пациентам проводили стандартные клинико-лабораторные исследования при поступлении в стационар. Общий и биохимический анализ крови, общий анализ мочи, определение группы крови и резус-фактора, маркеры инфекционных заболеваний ВИЧ, гепатитов В и С, сифилиса. Инструментальные исследования: электрокардиография, рентгенография грудной клетки и плечевого сустава. По показаниям осуществляли дополнительное обследование ввиду наличия хронических сопутствующих заболеваний или травм.

### Методы лучевой диагностики

Рентгенографическое обследование плечевого сустава в двух стандартных проекциях выполняли всем пациентам на рентгенодиагностической системе «DIRA-RC» (Германия) и «LUMENOS RF» фирмы «SIEMENS» (Германия) в отделении рентгенологии. Рентгенографию выполняли до операции, интраоперационно при помощи электронного оптического преобразователя (ЭОП) и после операции. Контрольное рентгенологическое обследование проводили

также через 1-3-6-12 месяцев после выполнения оперативного вмешательства (рисунок 2.6 и 2.7).



Рисунок 2.6 – Рентгенограмма: признаки трехфрагментарного перелома проксимального отдела плечевой кости со смещением отломков (собственное наблюдение)



Рисунок 2.7 – Компьютерная томография с признаками многооскольчатого перелома проксимального отдела плечевой кости со смещением отломков (собственное наблюдение)

Используемые проекции при рентгенографии плечевого сустава: прямая и боковая трансторакальная. Часто болевой синдром не позволял выполнять все описанные проекции, в связи с этим проводили атипичные укладки, проводили наиболее возможную прямую и боковую проекции или направляли пациента на компьютерную томографию с целью предоперационной подготовки. Дополнительно выполняли компьютерную томографию в послеоперационном периоде для оценки межфрагментарной фиксации отломков и степени реконструкции суставных поверхностей.

### **Методы клинического анализа**

Функциональные результаты лечения пациентов в отдаленном периоде (12 месяцев) оценивали, используя два стандартных опросника DASH и CSS, также оценивали хирургические рубцы в отдаленном периоде (более 12 месяцев) по VSS и отдельным измерениям.

Первый из них представляет собой самоопросник, отражающий видение пациентом его ограничений в повседневной активности. DASH позволяет оценить утрату бытовых навыков, с которыми сталкиваются пациенты после заболеваний и травм верхней конечности, а также подходит для длительного мониторинга динамики состояния пациента. Широкая распространность, перевод на многие языки, отсутствие необходимости специальной подготовки, а также эффекта «пола и потолка», делают эту шкалу общедоступной [111].

Для прохождения опросника в среднем пациенту необходимо уделить около тридцати минут для его заполнения: 30 вопросов о физической функции; оценке тяжести симптомов; социальном функционировании с 5-балльной градацией ответов и подсчетом общих значений. По 15 баллов в каждом и дополнительные разделы для профессиональных спортсменов и музыкантов (4 пункта по 15 баллов в каждом). Минимум 27 из 30 пунктов должны быть заполнены пациентом, чтобы возможно было рассчитать балл. В последующем результаты трансформируют в 100-балльную оценку. Более высокая оценка означает большую неспособность, 0 — отсутствие признаков недееспособности [111].

DASH: оценивали от 0 до 25 баллов как «отлично», от 26 до 50 баллов – как «хорошо», от 51 до 75 баллов – «удовлетворительно», от 76 до 100 баллов – «плохо» (рисунок 2.8).

QuickDASH					
Пожалуйста оцените вашу способность делать следующие действия в течение последней недели, ставя кружок вокруг номера соответствующего ответа.					
НЕТРУДНО	НЕМНОГО ТРУДНО	УМЕРЕННО ТРУДНО	ОЧЕНЬ ТРУДНО	НЕВОЗМОЖНО	
1. Открыть плотно-закрытую или новую банку с резьбовой крышкой.	1	2	3	4	5
2. Делать тяжелые домашние хозяйственныe работы (например, мыть стены, мыть полы).	1	2	3	4	5
3. Нести хозяйственную сумку или портфель.	1	2	3	4	5
4. Мыть спину.	1	2	3	4	5
5. Резать ножом пищепродукты.	1	2	3	4	5
6. Действия или занятия, требующие некоторую силу или воздействие через вашу руку, плечо или руку (напр., подметание, работа молотком, теннис и т.д.).	1	2	3	4	5
#					
НИСКОЛЬКО НЕМНОГО УМЕРЕННО МНОГО ЧРЕЗВЫЧАЙНО					
7. До какой степени проблема вашей руки, плеча или кисти ставилась с в-шей нормальной социальной активностью (в кругу семьи, друзей, соседей) в течение прошлой недели?	1	2	3	4	5
#					
БЕЗ ОГРАНИЧЕНИЯ НЕМНОГО УМЕРЕННО ОЧЕНЬ НЕСПОСОБНОСТЬ(АЯ)					
8. Были ли Вы ограничены в вашей работе или других регулярных ежедневных действиях из-за проблемы вашей руки, плеча или кисти в течение прошлой недели?	1	2	3	4	5
#					
Пожалуйста оцените серьезность следующих признаков на последней неделе.					
9. Боль в руке, плече или кисти.	1	2	3	4	5
10. Покалывание в руке, плече или кисти.	1	2	3	4	5
#					
НЕ ТРУДНО НЕМНОГО ТРУДНО УМЕРЕННО ТРУДНО ОЧЕНЬ ТРУДНО НАСТОЛЬКО ТРУДНО, ЧТО НЕ МОГУ СПАТЬ					
11. Насколько трудно было спать из-за боли в руке, плече или кисти в течение прошлой недели?	1	2	3	4	5
РАЗДЕЛ РАБОТЫ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ)					
Следующие вопросы касаются воздействия проблемы вашей руки, плеча или кисти на способность работать (включая ведение домашнего хозяйства, если это ваше основное дело).					
Пожалуйста укажите, кем Вы работаете: _____					
<input type="checkbox"/> Я не работаю. (Вы можете пропустить данный раздел). Пожалуйста, обведите в кружок цифру, наилучшим образом описывающую вашу физическую способность на прошлой неделе. Имети ли Вы трудность: _____					
НЕ ТРУДНО	НЕМНОГО ТРУДНО	УМЕРЕННО ТРУДНО	ОЧЕНЬ ТРУДНО	НЕВОЗМОЖНО	
1	2	3	4	5	
1. Используя привычную технику для вашей работы?	1	2	3	4	5
2. Из-за боли в руке, плече или кисти, выполняю вашу привычную работу?	1	2	3	4	5
3. Выполняю свою работу так, как Вам хотелось бы?	1	2	3	4	5
4. Тратя ваше привычное количество времени при выполнении работы?	1	2	3	4	5
#					
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СПОРТСМЕНЫ / МУЗЫКАНТЫ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ)					
Следующие вопросы касаются воздействия проблемы вашей руки, плеча или кисти на занятия вами тем или иным видом спорта и/или музыки. Если Вы занимаетесь более чем одним видом спорта или играете более чем на одном инструменте, ответьте соответственно тому виду деятельности, который наиболее важен для Вас.					
Пожалуйста укажите спорт или инструмент, который является наиболее важным для Вас: _____					
<input type="checkbox"/> Я не занимаюсь спортом или не играю на инструменте. (Вы можете пропустить данный раздел). Пожалуйста, обведите в кружок цифру, наилучшим образом описывающую вашу физическую способность на прошлой неделе.					
НЕ ТРУДНО	НЕМНОГО ТРУДНО	УМЕРЕННО ТРУДНО	ОЧЕНЬ ТРУДНО	НЕВОЗМОЖНО	
1	2	3	4	5	
1. Используя привычную технику для игры на инструменте или во время занятий спортом?	1	2	3	4	5
2. Из-за боли в руке, плече или кисти при игре на инструменте или занятиях спортом?	1	2	3	4	5
3. При игре на инструменте или занятиях спортом так, как Вам хотелось бы?	1	2	3	4	5
4. Тратя ваше привычное количество времени на занятия спортом или игру на инструменте?	1	2	3	4	5
#					
ВЫЧИСЛЕНИЕ ШКАЛЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РАЗДЕЛА.					
На все 4 вопросы должны быть даны ответы. Просто сложите заданные величины каждого ответа и разделите на 4 (количество пунктов); вычтите 1 и умножьте на 25.					

$$\text{Шкала QuickDASH неспособности/симптомов} = \left( \frac{[\text{сумма п ответов}]}{11} - 1 \right) \times 25, \text{ где } п \text{ равен количеству заполненных ответов.}$$

Шкала QuickDASH не может быть подсчитана, если пропущено более 1 пункта. #

Рисунок 2.8 – Опросник Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand

Еще одним часто используемым опросником является шкала Константа (Constant Shoulder Score, CSS). Он был разработан Алланом Мюрли в периоде 1981-1986 гг. Автор задумал этот опросник для оценки общего состояния, функционального статуса поврежденного плечевого сустава. Европейская ассоциация хирургии плечевого и локтевого суставов (SECEC/ESSSE) поддержала эффективность данного опросника и в настоящее время он широко используется во всей Европе и является золотым стандартом в оценке функции плечевого сустава [89].

Для формирования объективного результата, а также субъективной оценки опросник разделен на подпункты, описывающие боль (максимум 15 баллов), ежедневную активность (максимум 20 баллов), объем движений (максимум 40 баллов) и силу конечности (максимум 25 баллов). Чем выше показатель, тем, соответственно лучше функция (минимум 0, максимум 100) [25, 89] (рисунок 2.9).

Шкала Константа (Constant Shoulder Score)		
ФИО врача _____ ФИО пациента _____		
Ответьте на все вопросы, выбирая только один ответ, если не указано иное		
В течение предыдущих 4 недель		
Боль	очень сильная	0
	сильная	5
	умеренная	10
	нет боли	15
Уровень активности (выберите подходящий ответ)	здоровый сон	да(2) нет (0)
	полноценный отдых/спорт	да (4) нет (0)
	полноценное выполнение обязанностей на работе	да (4) нет (0)
Уровень, до которого вы можете поднять руку на стороне пораженного сустава	до уровня поясницы	2
	до уровня мечевидного отростка	4
	до уровня шеи	6
	до уровня макушки	8
	выше уровня головы	10
сила отведения (0,5 кг)	-0	0
	- 0,5-1,5	2
	- 2-3	5
	- 3,5-4,5	8
	- 5-6	11
	-6,5-7,5	14
	-7,5-9	17
	-9,5-10,5	20
	-11-12	23
	- >12	25
Объем движений		
Сгибание	-0 °- 30 °	0
	- 31°-60°	2
	- 61°-90°	4
	- 91°-120°	6
	- 121°-150°	8
	- 151°-180°	10
	Отведение	- 0°-30°
- 31°-60°		2
- 61°-90°		4
- 91°-120°		6
- 121°-150°		8
- 151°-180°		10
Наружная ротация		рука над головой, локоть впереди
	рука над головой, локоть сзади	4
	рука на верхушке головы, локоть впереди	6
	рука на верхушке головы, локоть сзади	8
	полное поднятие руки	10
Внутренняя ротация	Боковая поверхность бедра	0
	Ягодица	2
	Пояснично-крестцовое соединение	4
	Поясница (L3)	6
	12 позвонок (T12)	8
	Межлопаточная область (T7)	10
Значение шкалы Константа _____		
Максимальное значение 100 баллов		
Разница между здоровой и пораженной стороной >30 – плохо 21-30 – удовлетворительно 11-20 – хорошо <11 – отлично		

Рисунок 2.9 – Опросник Constant Shoulder Score

Кроме того, в нашем исследовании были оценены хирургические рубцы. Оценку проводили по Международной Ванкуверской оценочной шкале для обеих групп исследуемых. В 1990 году она была впервые представлена (Vancouver Scar Scale, VSS). В рамках этой шкалы оценивается васкуляризация, пигментация, эластичность, толщина/высота рубца. Рубцы оцениваются по числу баллов от 0 до 3 или от 0 до 5 баллов, в сумме максимальное значение 13 баллов (рисунок 2.10).

Параметр	Характеристика рубца	Оценка, баллы
Васкуляризация	Нормальный	0
	Розовый	1
	Красный	2
	Багровый	3
Пигментация	Нормальный	0
	Гипопигментация	1
	Гиперпигментация	2
Эластичность	Нормальный	0
	Мягкий, податливый	1
	Упругий	2
	Твердый	3
	Плотный, натянутый, но не спаянный с окружающими тканями	4
Высота/толщина	Контрактура	5
	Плоский	0
	<2 мм	1
	2–5 мм	2
	>5 мм	3
Общая оценка		Max 13

Рисунок 2.10 – Ванкуверская шкала (VSS) оценки хирургических рубцов

Кроме того, мы анализировали размеры хирургического рубца при помощи сантиметровой ленты или линейки. Измеряли общую длину рубца через год после операции, а также оценивали его ширину в трех точка, а именно проксимальная, средняя и дистальная трети. В случае способа МИНО величины длины минидоступов суммировались для объективного сравнения с единым дельтопекторальным доступом. Результаты измерения для удобства анализа переводили в миллиметры (рисунок 2.11).

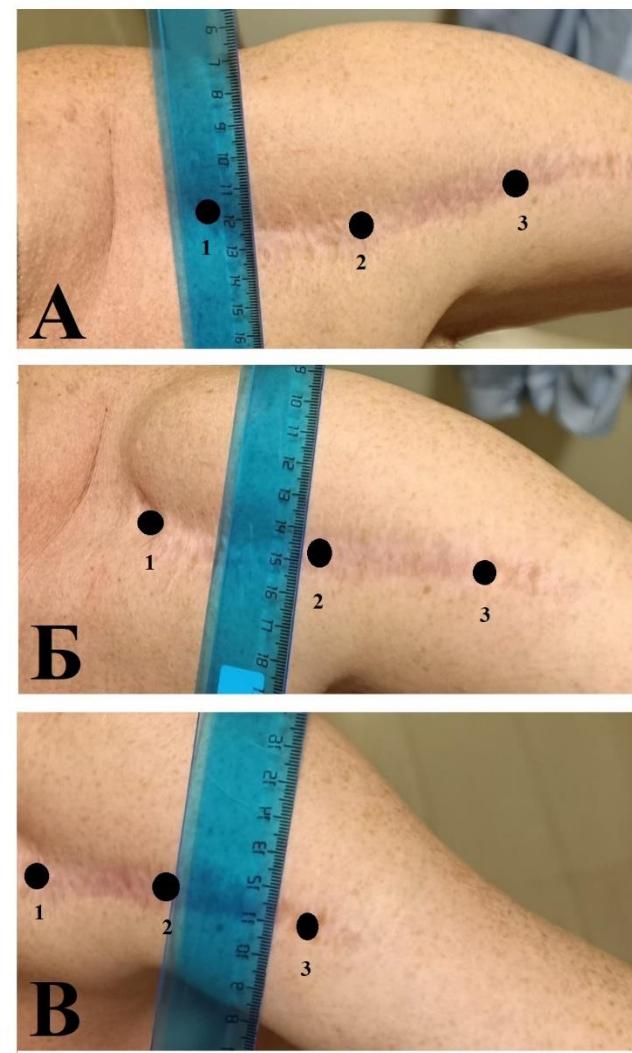


Рисунок 2.11 – Измерение ширины хирургического рубца (собственное наблюдение)

Измерение участков: А – проксимальный участок, Б – середина, В – дистальный участок, что соответствует точкам 1, 2, 3

### Методы статистического анализа и доказательной медицины

Сопоставления двух групп по количественным показателям осуществлялись на основе непараметрического метода Манна-Уитни. Сравнения трех и более групп по числовым показателям проводились на основе непараметрического критерия Краскела-Уоллеса. Статистическая значимость различий групп для бинарных и номинальных переменных определялась с использованием метода Хи-квадрат

Пирсона. Анализ взаимосвязей осуществлялся с использованием непараметрической ранговой корреляции по Спирмену.

Уровень статистической значимости был зафиксирован на уровне 0,05. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакетов прикладных программ IBM SPSS Statistics 23.0.

Для исследования структуры данных по каждому показателю применялись медиана и квартили в формате «Ме [LQ; UQ]», и минимум и максимум для оценки диапазона разброса значений показателя в формате «(Min; Max)».

### **Методы физико-математического и конечно-элементного анализа 3D-моделей**

В нашем исследовании был применен физико-математический метод, а также 3D-моделирование перелома проксимального отдела плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью. Для изображения нагрузок на пластину с угловой стабильностью после остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости формировали схему (рисунок 2.12), при которой  $\sigma = P / F$ , где  $\sigma$  – напряжение в Па ( $N/m^2$ ),  $P$  – сила,  $F$  – площадь поперечного сечения.

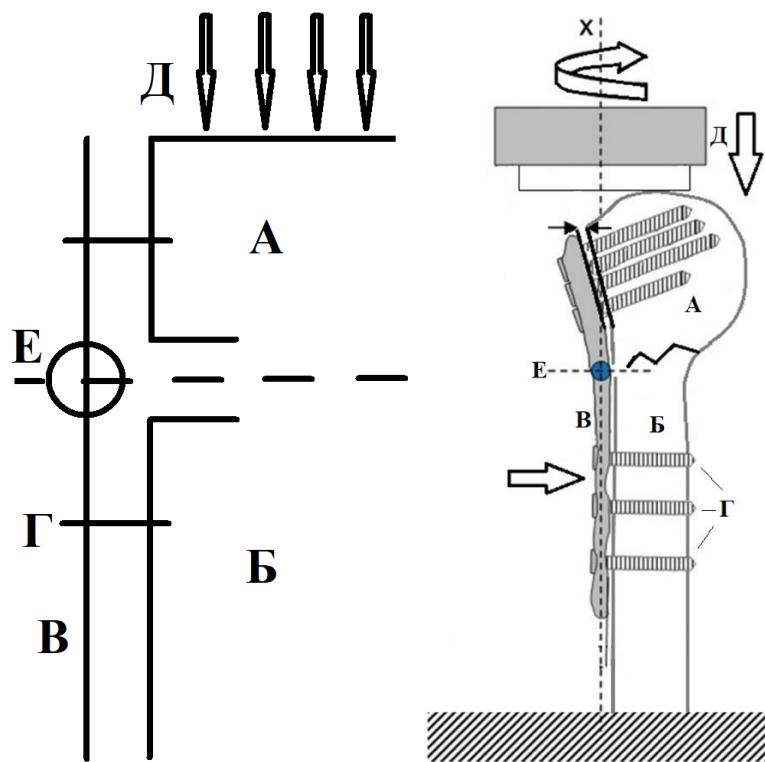


Рисунок 2.12 – Схемы расчетов нагрузок при накостном остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости (схематическое изображение от автора) А – головка плечевой кости (проксимальный фрагмент), Б – проксимальный отдел диафиза плечевой кости, В – пластина, Г – винты, Д – осевая нагрузка, Е – момент силы. Нагрузки по оси кости Х (вертикальная стрелка), на отведение (стрелка сбоку)

Напряжение в представленной ситуации рассчитывали, как отношение силы (кг) к площади поперечного сечения ( $\text{см}^2$ ). Наибольшая часть нагрузок и напряжения испытывались в точке Е. На этапах консолидации перелома имплант подвергался значительной циклической нагрузке и мог претерпевать поломку до сращения кости.

Использованные программные комплексы для дальнейших расчетов относились к системам автоматизированного проектирования, предназначенного для создания моделей и чертежей. В программных комплексах проводился конечно-элементный анализ. Этот метод широко используется во многих областях и может применяться для различных целей в травматологии и ортопедии: фундаментальное понимание механики остеосинтеза; проектирование имплантата; предоперационное

планирование. В основе конечно-элементного анализа лежит пространственная дискретизация: разделение сложной трехмерной геометрии на сетку маленьких элементов, соединенных в узлах. Элементы деформируются, в отличие от моделей опорно-двигательного аппарата жесткого тела, что позволяет прогнозировать напряжения и деформации. Конечно-элементный анализ численно решает смещения всех узлов модели одновременно, что приводит к выявлению вычисляемых распределений напряжений и деформаций. Большинство исследований решают для статического равновесия конструкции для заданных граничных условий (внешние силы и фиксированные точки/поверхности), пренебрегая динамическими инерционными эффектами.

На первом этапе строили 3D-модель в программном комплексе Catia с последующим совершенствованием структуры в SolidWorks (используя пакет построения моделей), далее (в пакете статического анализа) производили необходимые расчёты. При создании 3D-моделей выстраивали сетку для поставленной задачи, размер которой коррелировал с точностью расчетов: чем меньше конечные элементы, тем точнее расчеты. В случае построения сетки винтов делили их на несколько секторов также для точности передачи объемности и точности расчетов.

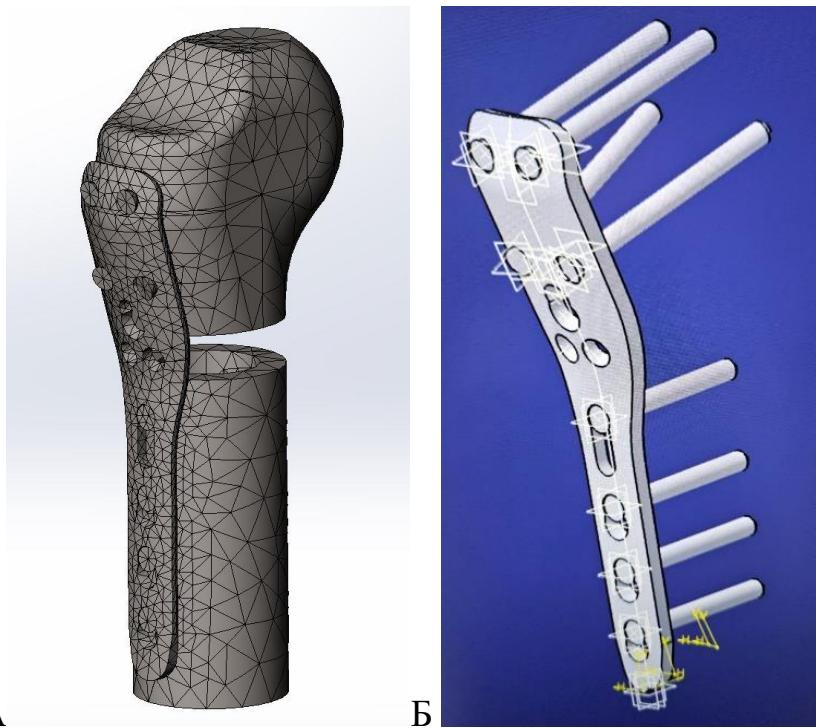


Рисунок 2.13 – Моделирование накостного остеосинтеза в программно-аналитических комплексах

- А – 3D-модель плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза пластиной и винтами. Модель кости имеет зону дефекта, обозначающую оскольчатую метафизарную зону проксимального отдела плечевой кости.
- Б – 3D-пространственная модель реконструктивной пластины с угловой стабильностью винтов

Соединения между костью и упрощенными безрезьбовыми стержнями винтов моделировали как не полностью связанные, с обоснованием того, что в условиях субразрушения на этих интерфейсах происходят значительные движения. Резьбовые соединения с блокирующими винтами к пластинам также моделировали как не полностью связанные. Кроме того, традиционные (неблокирующиеся) винты сложнее моделировать; процесс их хирургического введения создает напряжение внутри винта, более высокие деформации кости вокруг винта, сжатие между пластиной и костью и (с динамической компрессионной пластиной) межфрагментарное сжатие.

Типичное решение конечно-элементного анализа состояло из смещений по всей конструкции, а также деформаций и напряжений, полученных в результате этих смещений. Шкала отражала результат расчета напряжения в результате действия нагрузок (рисунок 2.14). Предел текучести – параметр материала пластины, применялись исходные данные: задавался материал – титан, автоматически отражался предел текучести. 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 восстанавливалась 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.

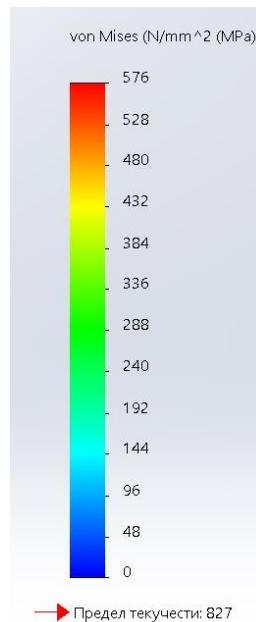


Рисунок 2.14 – Шкала напряжений на пластине, измеряемых в мегапаскалях, МПа (или Ньютон на миллиметр в квадрате), где синий цвет обозначает минимальное напряжение, а красный – напряжение, близкое к пределу текучести материала

Межфрагментарные смещения в месте перелома влияют на ход заживления; относительные смещения фрагментов могут быть разделены на осевые и сдвиговые компоненты и нормализованы по размеру щели перелома для оценки межфрагментарных деформаций. Смещение в точке приложения нагрузки может быть использовано для определения общей жесткости конструкции. Хотя жесткость не имеет четкой клинической значимости, ее можно надежно измерить в экспериментах с целью проверки. В имплантатах, винтах и модели кости исследовали пиковые напряжения, поскольку они были связаны с потенциалом статического предела текучести или циклического усталостного разрушения (который был задан автоматически при выборе материала импланта). При прогнозировании поломки пластины чаще использовали критерии деформации, чем критерии напряжения.

С целью формирования модели проксимального отдела плечевой кости, фиксированной в плечевом суставе, в программе задавали задачи проксимально-медиального закрепления. Это на схемах отображали в виде зеленых стрелок у проксимального фрагмента (рисунок 2.15).

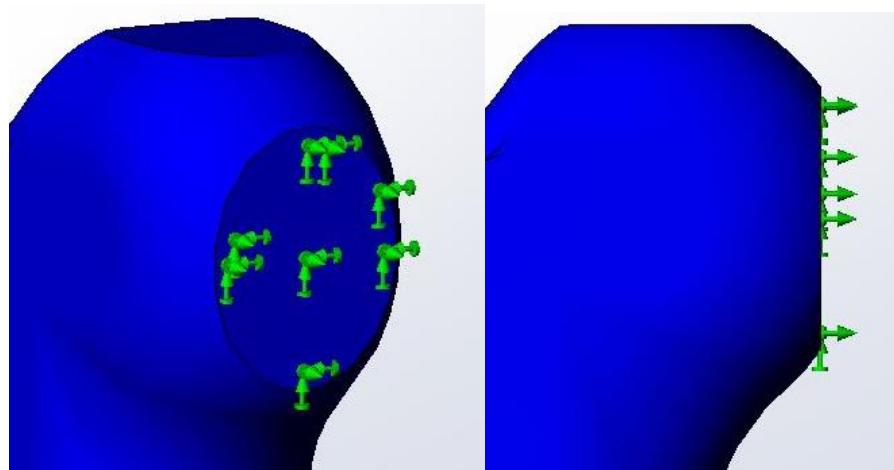


Рисунок 2.15 – Моделирование фиксации проксимального отдела плечевой кости к гленоиду – заделка (стрелки)

Линейные нагрузки, приложенные на костные фрагменты и пластины, отражались в ньютонах: 50 Н, 100 Н, 300 Н, при ротационных нагрузках – те же

величины в измерении Н/м. При упрощении расчетов  $100\text{H} = 10, 2$  кг. Представленные силовые нагрузки были подобраны с целью нахождения в рамках предела текучести и значениях, близких к нему.

С целью оценки напряжений на кость в условиях остеосинтеза пластииной с угловой стабильностью в программе были заданы различные задачи на вектор силы, приложенной к оперированной верхней конечности. Тем самым, мы демонстрировали модели с осевыми нагрузками и нагрузками на отведение в плечевом суставе (рисунок 2.16. А и Б).

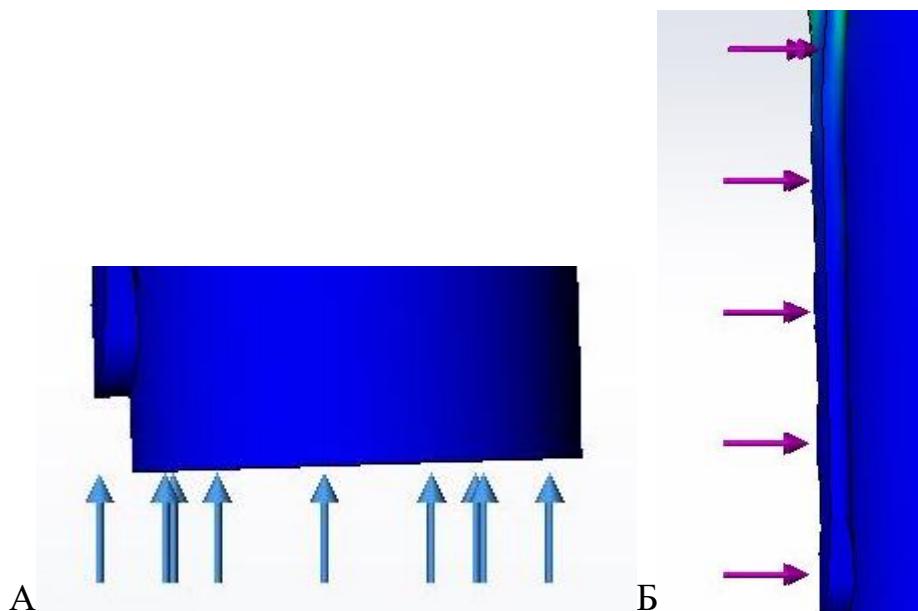


Рисунок 2.16 – Моделирование осевых нагрузок и нагрузок на отведение в плечевом суставе

А – Моделирование нагрузки по оси плечевой кости (стрелки); Б – Моделирование нагрузки на отведение в плечевом суставе с вектором сил, направленным перпендикулярно относительно оси плечевой кости (стрелки)

## ГЛАВА 3. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМОМ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ

Хирургия плечевого сустава в нашем исследовании осуществлялась под эндотрахеальным наркозом, пациента укладывали в «положение шезлонга»: положение на спине, верхняя половина тела под углом около 60 градусов, с согнутыми нижними конечностями под 60-80 градусов в тазобедренном и коленных суставах и приподнятым торсом. При укладке «пляжный шезлонг» для остеосинтеза плечевой кости «вывешивали» оперируемую верхнюю конечность за край стола на ширину лопатки для свободной манипуляции рукой. Голову закрепляли аккуратно боковыми упорами и воротником Шанца или специализированным фиксатором с защитой шеи (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Пациент на операционном столе в положении «шезлонга» с фиксацией тела удерживающими ремнями и шеи в воротнике Шанца

При помощи хирургического маркера производили разметку основных костных ориентиров: ключица, ключовидный отросток, акромион (рисунок 3.2).

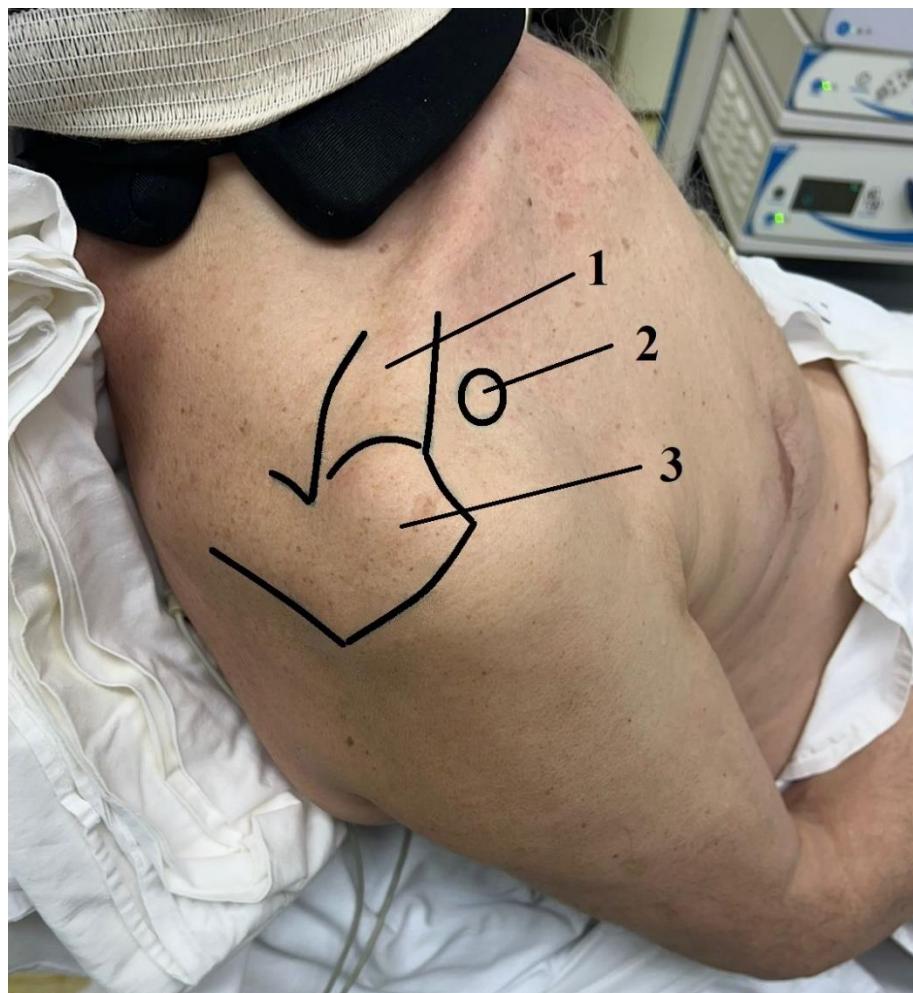


Рисунок 3.2 – Предоперационная разметка на плече пациента: 1 – ключица, 2 – ключовидный отросток, 3 – акромион

Пациентам выполнялось оперативное лечение по способам ОРИФ и МИНО. В первом случае применялся дельтопекторальный доступ. Разрез осуществляли в проекции пальпируемой дельтопекторальной борозды: отступив несколько дистальнее от акромиального края ключицы в косом направлении к диафизу плечевой кости от 12 до 18 см (рисунок 3.3).

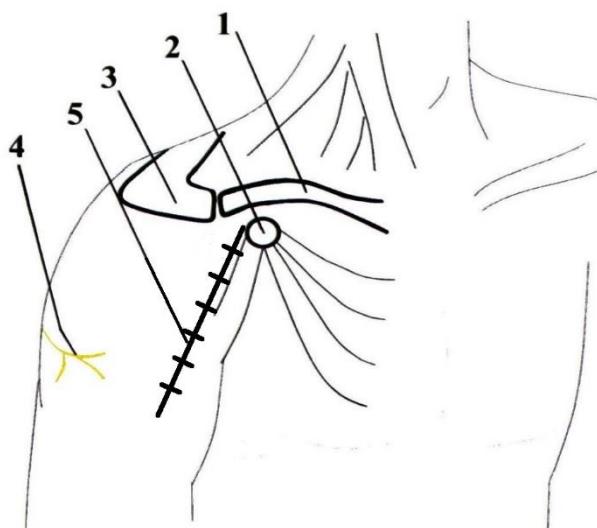


Рисунок 3.3 – Дельтопекторальный доступ (схематическое изображение от автора)

1 - ключица, 2 – клювовидный отросток, 3 - акромион, 4 – ветвь подмыщечного нерва, 5 – разрез в проекции дельтопекторальной борозды

Выполняли тупую и острую последовательные диссекции подкожной жировой клетчатки и фасции. Сосуды тщательно коагулировали. Визуализировали дельтовидную мышцу. Далее осуществляли диссекцию и ретракцию интервала между дельтовидной и большой грудной мышцами. Головную вену отводили кверху и латерально вместе с дельтовидной мышцей, тем самым обнажая объединенное сухожилие (сухожилия клювовидно-плечевой мышцы и короткой головки бицепса). Смещали объединенное сухожилие с щадящей ретракцией мышц, так как ниже, сквозь мышечные волокна проникал мышечно-кожный нерв. С целью исключения повреждения подмыщечного нерва дистальную треть подлопаточной мышцы не рассекали. В течение операции выполняли ЭОП-контроль. Накостно размещали реконструктивную пластину с угловой стабильностью и временно фиксировали её к плечевой кости спицами. После достижения правильного взаимоотношения отломков и пластины выполняли окончательную фиксацию проксимальной части пластины к головке плечевой кости винтами. Проводили оценку движений в плечевом суставе,

контроль длины винтов, а также стабильность фиксации. Накладывали узловые швы на кожу. Послеоперационные раны закрывали асептической повязкой.

В случае применения МИНО выполняли разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки от проекции границы передней и средней третей латерального края акромиона в дистальном направлении на протяжении 4-8 см (рисунок 3.4).

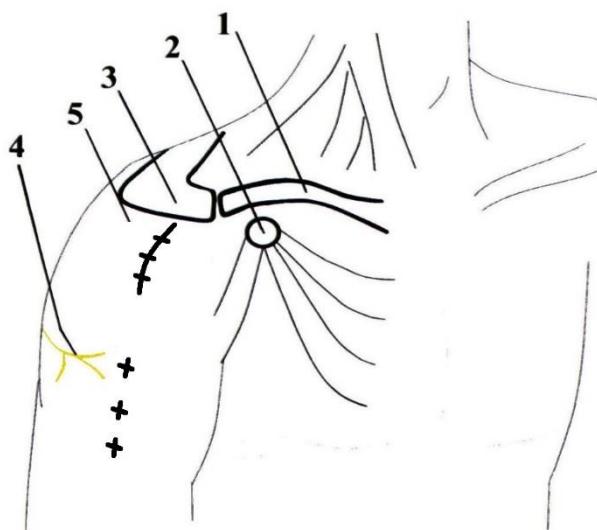


Рисунок 3.4 – Минимально инвазивный доступ (схематическое изображение от автора)

1 - ключица, 2 – клювовидный отросток, 3 - акромион, 4 – ветвь подмышечного нерва, 5 – разрез в проекции границы передней и средней порций дельтовидной мышцы

Выполняли тупую и острую последовательные диссекции подкожной жировой клетчатки и фасции. Сосуды тщательно коагулировали. Визуализировали дельтовидную мышцу. По границе между передней и средней порциями дельтовидной мышцы осуществляли разведение мышечных волокон, что позволяло визуализировать большой бугорок и сухожилие надостной мышцы. Дельтовидную мышцу на расстоянии 5 см ниже акромиона прошивали и фиксировали узловым швом рассасывающимся швовым материалом для профилактики повреждения подмышечного нерва.

В течение операции выполняли ЭОП-контроль. Осуществляли репозицию перелома. При помощи костного распатора в дистальном направлении по наружной поверхности плечевой кости между дельтовидной мышцей и проксимальным отделом диафиза формировали костно-мышечный канал. В сформированный костно-мышечный канал проводили реконструктивную пластину с угловой стабильностью и временно фиксировали к плечевой кости спицами. После достижения правильного взаимоотношения отломков и пластины выполняли окончательную фиксацию проксимальной части пластины к головке плечевой кости винтами. Выполняли три разреза по 1 см в проекции дистальных отверстий пластины для фиксации к диафизу плечевой кости. Проводили оценку движений в плечевом суставе, контроль длины винтов, а также стабильность фиксации. Ушивали дельтовидную мышцу рассасывающимся швовым материалом. Накладывали узловые швы на кожу. Послеоперационные раны закрывали асептической повязкой. Накладывали косыночную повязку.

Пациентам выполняли в обязательном порядке лекарственную терапию в следующем объеме – опиоидный анальгетик (трамадол) в первые сутки после операции внутримышечно, далее нестероидные противовоспалительные средства (кетопрофен) при болях внутримышечно, антибактериальная и антикоагулянтная терапия по протоколам.

Перевязки ран с антисептиками, снятие швов выполняли через 14 дней. В дальнейшем рекомендовали массаж хирургического рубца и физиотерапевтическое лечение.

Ведение пациентов в послеоперационном периоде в ретроспективном исследовании вне зависимости от выполненного оперативного доступа проводили в соответствии с результатами авторов систематического обзора протоколов реабилитации [39]. Применяли иммобилизацию оперированной верхней конечности в косыночной повязке до 3 недель. Повязку разрешали снимать до четырех раз в день для выполнения упражнений. Осуществляли

ранние движения оперированной верхней конечностью под контролем врача лечебной физкультуры с первых суток. Цель – минимизировать боль и воспалительную реакцию. Выполнялись изометрические сокращения мышц, пассивные и маятникообразные движения с этапным увеличением объема движений до самостоятельных активных.

Цель в первые 3 недели: активная разработка движений в локтевом, лучезапястном и суставах пальцев кисти с первого дня; упражнения на пассивную разработку движений в плечевом суставе (маятникообразные движения, изометрические сокращения мышц плечевого пояса и плеча, сведение лопаток, подъем плеч), упражнения на пассивную разработку движений в безболезненном диапазоне не более 90 градусов отведения и сгибания, наружная и внутренняя ротация плечевого сустава начинали с вторых суток.

Цель в период 3-9 недель: увеличение активной амплитуды движений в плечевом суставе более 90 градусов отведения и прямого сгибания, полная активная ротация в плечевом суставе.

Цели в период 9-12 недель: укрепление мышц плечевого пояса и плеча, увеличение объема движений и нагрузки на оперированную верхнюю конечность.

## ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 4.1 Результаты ретроспективного сравнительного исследования накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости с применением минимально инвазивного и дельтопекторального доступов

По результатам проведенного оперативного лечения 115 пациентов ретроспективного исследования во всех случаях была достигнута поставленная задача: выполнена репозиция костных отломков, восстановлены взаимоотношения в суставе, оси верхней конечности, а также анатомическая длина, ротация проксимального отдела плечевой кости и обеспечена стабильная интраоперационная фиксация вне зависимости от применяемого способа с использованием пластины с угловой стабильностью.

В случае выполнения минимально инвазивного оперативного доступа уходило меньшее количество времени для мобилизации проксимального отдела плеча, поскольку имеется меньшее количество подкожно-жировой клетчатки, не требуется выделение головной вены и её рациональное отведение, а также ретракция компонентов вращательной манжеты. При визуализации перелома с его латеральной стороны возможна лучшая визуализация капсулы сустава по передней и задней локализациям или большее удобство для «расклинивания» линии перелома в вальгусном направлении. Массив дельтопекторальной мышцы проще удерживать и ретрагировать ассистенту хирурга, что в 45% процентах случаев позволяло даже применять ранорасширители систем Адсона, Янсена и их модификаций и работе без ассистента. Малый травматизм периартикулярных тканей позволял также тратить меньшее время на ушивание послеоперационной раны.

Многие факторы (обширность диссекции, размеры доступа) влияют на болевой синдром и на психическое состояние пациента в раннем

послеоперационном периоде во время выполнения перевязок (этот критерий отдельно не оценивался, поэтому он не влиял на ход исследования ввиду отсутствия значимости на фоне других критериев).

Первостепенной целью ставили рассмотрение отдаленных результатов обоих способов, что являлось более показательным и объективным. При оценке функции и состояния оперированного плечевого сустава в отдаленном периоде (12 месяцев с момента операции) не была получена статистически значимая разница по результатам шкал DASH  $p=0,301$ , CSS  $p=0,116$  (таблица 4.1). Вместе с тем, в «Группе сравнения 1» пациенты чаще предъявляли жалобы на сохраняющуюся слабость, ограничение движений на отведение, прямое сгибание и внутреннюю ротацию.

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ эффективности применения способов накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости по шкалам опросников функции плеча

Показатели шкал опросников функции плеча	Группы пациентов		Уровень Р
	Основная группа 1 (МИНО) (N=73) Me [Q1; Q3]	Группа сравнения 1 (ОРИФ) (N=42) Me [Q1; Q3]	
<b>DASH, баллы</b>	3,5 [2,4; 7,8]	4,2 [2,5; 12,3]	0,301
<b>CSS, баллы</b>	90,0 [84,0; 93,0]	78,7 [26,0; 89,0]	0,116

Результаты опросников функции плеча, оценки рубцового процесса и болей у пациентов двух выделенных возрастных групп не продемонстрировали явной статистически значимой разницы по всем показателям, кроме шкалы DASH (3,2 балла [2,4; 4,8] и 4,3 балла [2,9; 12,3]),  $p=0,011$ . Это может указывать на то, что пациенты старшего возраста хуже переносят оперативное лечение в отдаленном послеоперационном периоде (VSS, DASH, CSS) (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Сравнительный анализ эффективности оперативного лечения у пациентов младше и старше 60ти лет по шкалам опросников функции плеча

Показатели шкал опросников	Возрастные группы		Уровень Р
	До 60-ти лет (N=53)	60 лет и более (N=62)	
<b>DASH, баллы</b>	3,2 [2,4; 4,8]	4,3 [2,9; 12,3]	0,011
<b>CSS, баллы</b>	90,0 [88,0; 92,0]	88,0 [78,2; 92,0]	0,109

При анализе общих полученных результатов было выявлено, что «Основная группа 1» превосходила «Группу сравнения 1» по всем показателям. Это может быть связано с тем, что в нашем исследовании пациентов с двухфрагментарными переломами в процентном и количественном соотношении наблюдалось больше в «Основной группе 1» (ОРИФ 21 пациент - 50% и МИНО 50 пациентов - 68,5%), а пациентов с более сложными типами переломов (трех- и четырехфрагментных) было больше в «Группе сравнения 1».

При подсчетах длины рубцов в случае МИНО складывали длины отдельных рубцов. Это позволило полученные результаты сравнить у обоих оперативных доступов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Сравнение показателей размеров хирургического рубца у изучаемых групп пациентов

Показатели размеров хирургического рубца (мм)	Группа пациентов		Уровень Р
	Основная группа 1 (МИНО) (N=73)	Группа сравнения 1 (ОРИФ) (N=42)	
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

Были рассмотрены хирургические рубцы в обеих группах по длине и ширине. Лучшие результаты по длине были в случае применения МИНО – средняя длина рубца составила 80,0 мм [75,0; 90,0] против 120,0 мм [100,0; 140,0] при ОРИФ ( $p<0,0001$ ) (рисунок 4.2 – 4.4).



Рисунок 4.2 – Статистические показатели при сравнении оперативных доступов у изучаемых групп пациентов

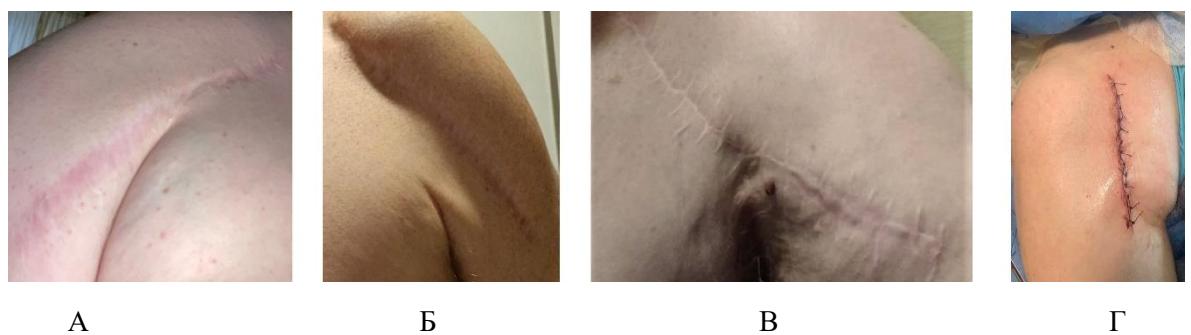


Рисунок 4.3 – фотографии хирургических рубцов от дельтопекторального доступа при накостном остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости в отдаленном (А, Б, В) и раннем (Г) послеоперационных периодах (собственное наблюдение)

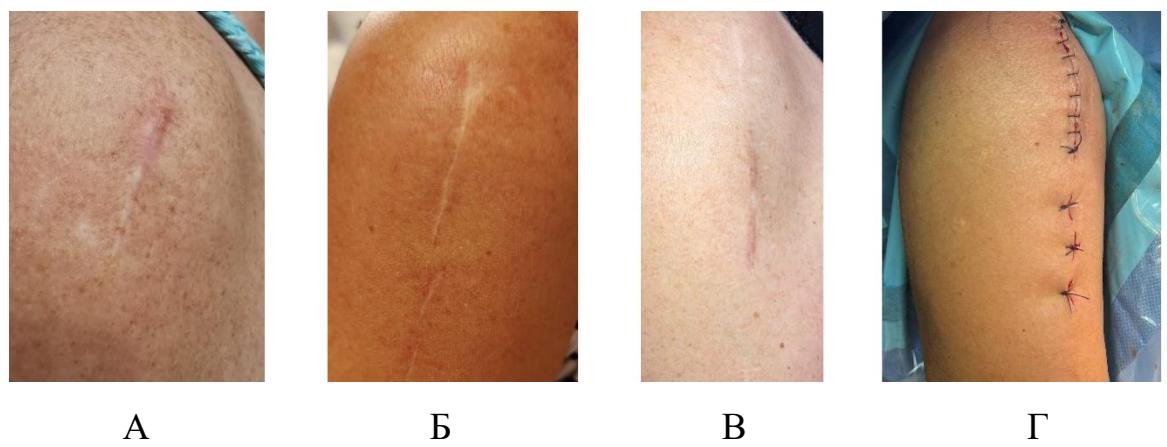


Рисунок 4.4 – фотографии хирургических рубцов от минимально инвазивного оперативного доступа при накостном остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости в отдаленном (А, Б, В) и раннем (Г) послеоперационных периодах (собственное наблюдение)

Исследовали ширину хирургических рубцов в трех точках: проксимальный, средний и дистальный участки. Было выявлено, что хирургический рубец после дельтопекторального доступа имеет тенденцию к веретенообразному расширению в дистальном направлении: проксимального 3,0 мм [2,0; 4,0], посередине 3,0 мм [3,0; 5,0], дистально 3,0 мм [3,0; 5,0].

В случае минимально инвазивного доступа хирургический рубец был 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], что имело статистически значимую разницу в последних двух значениях ( $p=0,004$ ,  $p<0,0001$  соответственно). Это может быть связано с расположением линий Лангера, большей подвижностью кожных покровов плеча в проекции подмышечной впадины, а также с большим травматизмом мягких тканей и краевой ишемией кожных покровов при ретракции мягких тканей в случае дельтопекторального доступа. В случае МИНО хирургический рубец имел одинаковую ширину на всем протяжении во всех исследованных случаях. Единственной областью избыточной кожной подвижности можно было выделить область латерального края акромиона, который мог вызывать расширение проксимального участка шва.

При оценке хирургических рубцов после выполненных оперативных доступов в отдаленном периоде (12 месяцев после операции) не было выявлено ни одного случая выраженного рубцово-спаечного процесса, ограничивающего движения в плечевом суставе. Кожная складка в области рубца свободно смещалась и не имела признаков рубцевания с нижележащими тканями.

При оценке послеоперационных рубцов по Ванкуверской шкале через 12 месяцев после операции получили лучшие результаты при выполнении доступа по МИНО (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Сравнительный анализ способов накостного остеосинтеза по показателю Ванкуверской шкалы

Показатель	Способ накостного остеосинтеза		Уровень Р
	Основная группа 1 (МИНО) (N=73) Ме [Q1; Q3]	Группа сравнения 1 (ОРИФ) (N=42) Ме [Q1; Q3]	
VSS, баллы	2,0 [1,0; 3,0]	3,0 [2,0; 5,0]	0,007

При оценке результатов по функции плеча было показано, что при четырехфрагментарных переломах способ ОРИФ имел более хорошие результаты, чем способ МИНО. Эти результаты можно было проследить при отдельном рассмотрении осложнений и оценки по шкалам опросников. Были получены убедительные сведения, свидетельствующие о том, что при двух- и трехфрагментарных переломах сравнение способов является объективным. При Neer III результаты применения МИНО и ОРИФ сопоставимы по VSS ( $p=0,865$ ) и рискам развития осложнений ( $p=0,313$ ), но с наличием преимуществ по DASH и CSS при дельтопекторальном доступе.

Меньшее количество осложнений отмечалось в «Основной группе 1» Neer II (12%,  $p=0,012$ ). Этот способ также превосходил ОРИФ по другим показателям при двухфрагментарных переломах.

В случаях четырехфрагментарных переломов, метод МИНО имеет ограниченное применение и требует доработки, поскольку его применение в наших когортах исследования отражалось неудовлетворительными результатами (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – 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>
	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)	(N=21)		(N=20)	(N=15)		(N=3)	(N=6)	
пациентов (N)	Me [Q1; Q3]	Me [Q1; Q3]		Me [Q1; Q3]	Me [Q1; Q3]		Me [Q1; Q3]	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

При исследовании результатов корреляционного анализа отмечается прямая взаимосвязь данных шкал опросников функции плеча и характеристик рубца с увеличением возраста. Чем старше пациент, тем хуже результаты, без зависимости от выбора способа накостного остеосинтеза. Наибольшая статистическая достоверность определена от взаимосвязи переменных шкал опросников и характеристик хирургического рубца (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Показатели взаимосвязи изучаемых переменных (коэффициенты корреляции Спирмена), при котором: 1 — сильная прямая связь; -1 — сильная обратная связь; 0 — отсутствие связи.

\* - статистическая значимость на уровне  $p \leq 0,05$

\*\* - статистическая значимость на уровне  $p \leq 0,01$

Показатель	Возраст, лет	Длина рубца, мм	Ширина рубца вверху, мм	Ширина рубца посередине, мм	Ширина рубца внизу, мм	VSS	DASH	CSS
<b>Возраст, лет</b>	1	0,04	-0,05	0,09	0,2*	0,10	0,17	-0,11
<b>Длина рубца, мм</b>	0,04	1	0,33**	0,4**	0,54**	0,2*	0,16	-0,18
<b>Ширина рубца проксимально, мм</b>	-0,05	0,33**	1	0,79**	0,61**	0,09	0,32**	-0,24**
<b>Ширина рубца посередине, мм</b>	0,09	0,4**	0,79**	1	0,68**	0,22*	0,4**	-0,32**
<b>Ширина рубца дистально, мм</b>	0,2*	0,54**	0,61**	0,68**	1	0,25**	0,33**	-0,29**
<b>VSS</b>	0,10	0,2*	0,09	0,22*	0,25**	1	0,31**	-0,37**
<b>DASH</b>	0,17	0,16	0,32**	0,4**	0,33**	0,31**	1	-0,89**
<b>CSS</b>	-0,11	-0,18	-0,24**	-0,32**	-0,29**	-0,37**	-0,89**	1

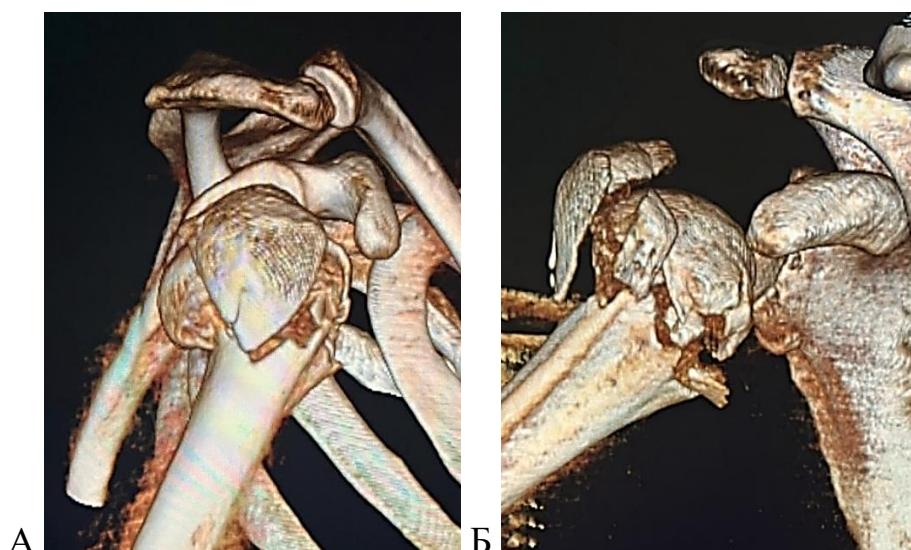
При изучении анатомо-функциональных осложнений было отмечено превалирование их развития в раннем послеоперационном периоде – до 3 месяцев. Это может указывать на проблемы, возникающие в период реабилитации. Был отмечен варус-коллапс, перфорация винта в сустав, потеря репозиции и поломка металлофиксатора. Результаты анализа осложнений представлены в следующем подразделе. Ниже описаны клинические примеры обоих способов накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости без развития осложнений.

### Клинический пример № 1:

Пациент Н., 64 года, поступил в отделение травматологии и ортопедии ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ с жалобами на боли в области правой верхней конечности, деформацию верхней трети плеча и ограничение функции поврежденной конечности.

*Anamnesis morbi:* со слов пациента в результате падения на отведенную в плечевом суставе верхнюю конечность ощутил резкую боль и «хруст» в правом плече. Самостоятельно обратился в приемное отделение ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ, где был осмотрен врачом травматологом-ортопедом, выполнена рентгенография и компьютерная томография правого плечевого сустава.

*Status localis:* на момент осмотра отечность и деформация верхней трети плеча, болезненность и крепитации при пальпации в этой области, положителен тест осевой нагрузки, объем движений резко ограничен болевым синдромом. Острых нейроциркуляторных изменений не было выявлено. Диагностирован закрытый оскольчатый перелом проксимального отдела правой плечевой кости со смещением отломков. В приемном отделении выполнена иммобилизация поврежденной верхней конечности, далее – госпитализация в травматологическое отделение. На вторые сутки после травмы выполнено оперативное вмешательство – накостный остеосинтез блокируемой пластиной с угловой стабильностью по ОРИФ (рисунок 4.5, А-Д).



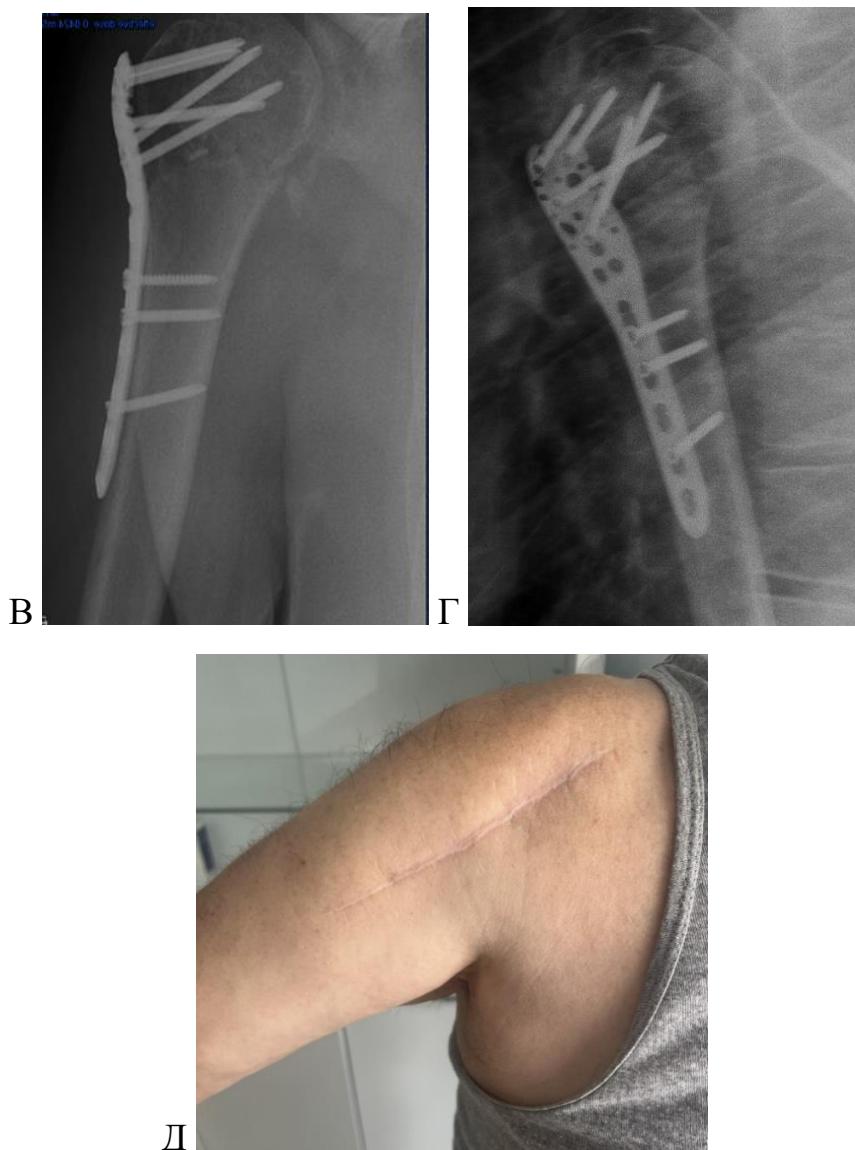


Рисунок 4.5 – Клинический пример накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости при помощи дельтопекторального доступа

А, Б – Компьютерная томография с признаками многоосколочного перелома проксимального отдела плечевой кости со смещением отломков в боковой и прямой проекциях; В, Г – послеоперационные рентгеновские снимки накостного остеосинтеза пластиной и винтами, Д – фото хирургического рубца через 12 месяцев после операции

С первых суток после операции пациент был ознакомлен с протоколом послеоперационного ведения, далее пациент был консультирован врачом реабилитологом с целью начала выполнения упражнений на разработку движений в оперированном плечевом суставе. Контрольный осмотр пациента осуществляли через 1, 3, 6, 12 месяцев с момента операции. Через год после

операции: хирургический рубец безболезненный, уплотненный при пальпации, не спаян с нижележащими тканями, объем движений в правом плечевом суставе отведение кнаружи 90, сгибание 125, наружная ротация 40, внутренняя ротация 45, CSS 83, DASH 5.3.

Комментарий: представленный клинический пример демонстрирует отсутствие осложнений в послеоперационном периоде. Ограничение функции оперированного плеча может быть связано с многофрагментарным характером перелома проксимального отдела плечевой кости. После выполнения накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости при помощи дельтопекторального доступа имелся рубцово-спаечный процесс, что выражалось не только в консистенции хирургического рубца, но и трудностях реабилитации.

### **Клинический пример № 2:**

Пациентка Г., 52 года, поступила в отделение травматологии и ортопедии ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ с жалобами на боли в области правой верхней конечности, деформацию верхней трети плеча и ограничение функции поврежденной конечности.

Anamnesis morbi: со слов пациентки во время занятия спортом на улице поскользнулась, ударила областью правого плеча о скамейку в результате падения. Доставлена родственниками в приемное отделение ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ, где была осмотрен врачом травматологом-ортопедом, выполнена рентгенография правого плечевого сустава.

Status localis: на момент осмотра отечность и деформация верхней трети плеча, болезненность и крепитации при пальпации в этой области, положителен тест осевой нагрузки, объем движений резко ограничен болевым синдромом. Острых нейроциркуляторных изменений не было выявлено. Диагностирован закрытый перелом проксимального отдела правой плечевой кости со смещением отломков. В приемном отделении выполнена иммобилизация поврежденной верхней конечности, далее – госпитализация в травматологическое отделение. В

первые сутки после травмы выполнено оперативное вмешательство – накостный остеосинтез блокируемой пластиной с угловой стабильностью по МИНО.

Разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки был осуществлен в перпендикулярном направлении от проекции границы передней и средней третей латерального края акромиона в дистальном направлении на протяжении 4-8 см. Была выполнена тупая и острая последовательные диссекции подкожной жировой клетчатки и фасции. Сосуды тщательно коагулировали. Визуализирована дельтовидная мышца. По границе между передней и средней порциями дельтовидной мышцы было осуществлено тупое линейное расслоение разведение мышечных волокон, что позволило визуализировать большой бугорок и сухожилие надостной мышцы. Дельтовидная мышца на расстоянии 5 см ниже акромиона была прошита и фиксирована узловым швом рассасывающимся швовым материалом для профилактики повреждения подмышечного нерва.

В течение операции выполнялся ЭОП-контроль. Была осуществлена репозиция перелома. При помощи костного распатора в дистальном направлении по наружной поверхности плечевой кости между дельтовидной мышцей и проксимальным отделом диафиза был сформирован костно-мышечный канал. В сформированный костно-мышечный канал была проведена реконструктивная пластина с угловой стабильностью и временно фиксирована к плечевой кости спицами. После достижения правильного взаимоотношения отломков и пластины была выполнена окончательная фиксация проксимальной части пластины к головке плечевой кости винтами. Были выполнены три разреза по 1 см в проекции дистальных отверстий пластины для фиксации к диафизу плечевой кости. Произведена оценка движений в плечевом суставе, контроль длины винтов, а также стабильность фиксации. Выполнено ушивание дельтовидной мышцы рассасывающимся швовым материалом. Наложены узловые швы на кожу. Послеоперационные раны закрыты асептической повязкой. Наложена косыночная повязка (рисунок 4.6, А-Д).

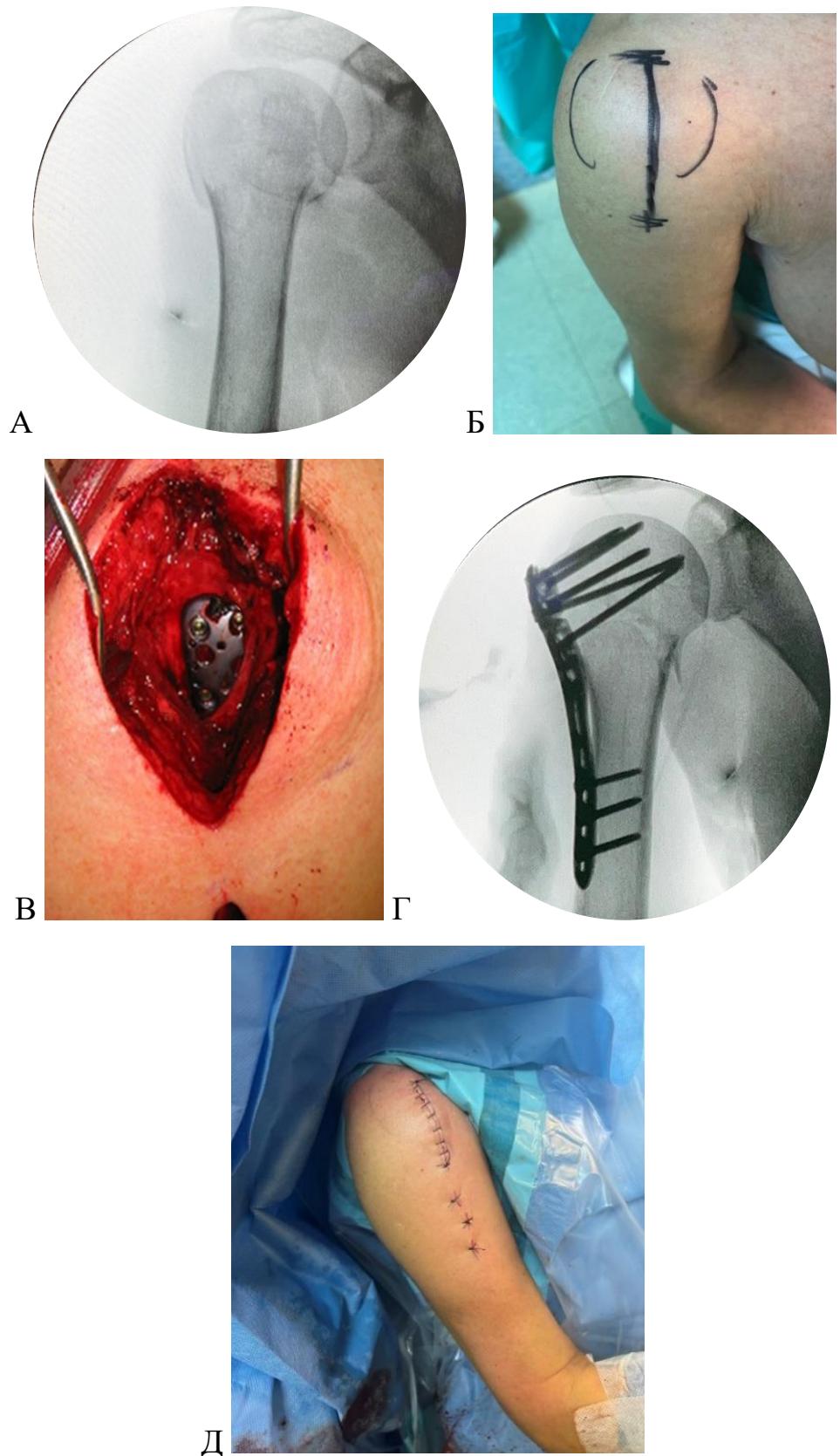


Рисунок 4.6 – Клинический пример минимально инвазивного накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости

А – предоперационные рентгеновские снимки перелома проксимального отдела плечевой кости со смещением отломков с ЭОП; Б – предоперационная

разметка минимально инвазивного оперативного доступа (прямая линия – линия выполнения оперативного доступа, круговые линии – пальпируемый ориентир большой бугорок плечевой кости); В – интраоперационная фотография накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью из минидоступа; Г – интраоперационные рентгеновские снимки накостного остеосинтеза пластиной и винтами с ЭОП; Д – Ушитые операционные раны области правого плеча

С первых суток после операции пациентка была ознакомлена с протоколом послеоперационного ведения, далее пациентка был консультирована врачом реабилитологом с целью начала выполнения упражнений на разработку движений в оперированном плечевом суставе. Контрольный осмотр пациентки осуществляли через 1, 3, 6, 12 месяцев с момента операции. Через год после операции: хирургический рубец безболезненный, не спаян, мягкий при пальпации, объем движений в правом плечевом суставе отведение кнаружи 160, сгибание 155, наружная ротация 45, внутренняя ротация 45, CSS 91, DASH 3.4.

Комментарий: представленный клинический пример оперативного лечения двухфрагментарного перелома демонстрирует отсутствие осложнений в послеоперационном периоде. Пациентка не отмечала ограничения функции оперированного плеча в отдаленном периоде. После выполнения накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости при помощи минимально инвазивного доступа рубцово-спаечный процесс был не выражен, что проявлялось не только в консистенции хирургического рубца, но и в ходе реабилитации.

## 4.2 Осложнения после накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости

В исследовании было выявлено 34 осложнения (29,6%) у пациентов, перенесших оперативное лечение методом накостного остеосинтеза перелома проксимального отдела плечевой кости, а именно 19 (45,2%) в «Группе сравнения 2» и 15 (20,5%) в «Основной группе 1», что имело статистически значимую разницу ( $p=0,005$ ).

При анализе осложнений были выделены две группы:

1. связанные с мягкими тканями – 2 онемения участка области оперативного доступа (МИНО Neer II, ОРИФ Neer II), 2 нагноения послеоперационной раны (ОРИФ Neer III, IV), 1 нейропатия срединного нерва (ОРИФ Neer III).

2. связанные с костью и металлофиксаторами – варусное смещение головки плечевой кости, перфорация винта в сустав, поломка фиксатора, потеря репозиции, АВН.

Осложнения, представленные в первой группе, не повлияли на результат оперативного лечения. Во всех случаях отмечали регресс на фоне медикаментозного и физиотерапевтического лечения. Осложнения были купированы в период от 2х недель до 3 месяцев, в связи с этим не рассматривались в дальнейшем.

Осложнения, представленные во второй группе, требовали детального рассмотрения и, в некоторых случаях, повторных операций. В их случае рассматривали аспекты анатомо-функциональных результатов применения обоих способов накостного остеосинтеза (таблица 4.7).

Наибольшее количество пациентов без осложнений отмечались в «Основной группе 1» вне зависимости от сложности перелома проксимального отдела плечевой кости (79,5%) (таблица 4.7, рисунок 4.7 и 4.8).

Таблица 4.7 – Сравнительный анализ видов осложнений при разных типах переломов по Neer и способах накостного остеосинтеза

Тип перелома	Neer II		Neer III		Neer IV		Всего
Группа пациентов и способ накостного остеосинтеза, количество пациентов (N)	Основная группа 1 (МИНО) N=50	Группа сравнения 1 (ОРИФ) N=21	Основная группа 1 (МИНО) N=20	Группа сравнения 1 (ОРИФ) N=15	Основная группа 1 (МИНО) N=3	Группа сравнения 1 (ОРИФ) N=6	
Варусное смещение проксимального фрагмента	2	2	2	2	-	1	9
Аваскулярный некроз	1	2	1	1	1	1	7
Перфорация винта	3	3	1	2	-	1	10
Поломка пластины	-	1	1	-	-	-	2
Потеря репозиции	-	-	1	2	2	1	6
<b>Итого:</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>34</b>

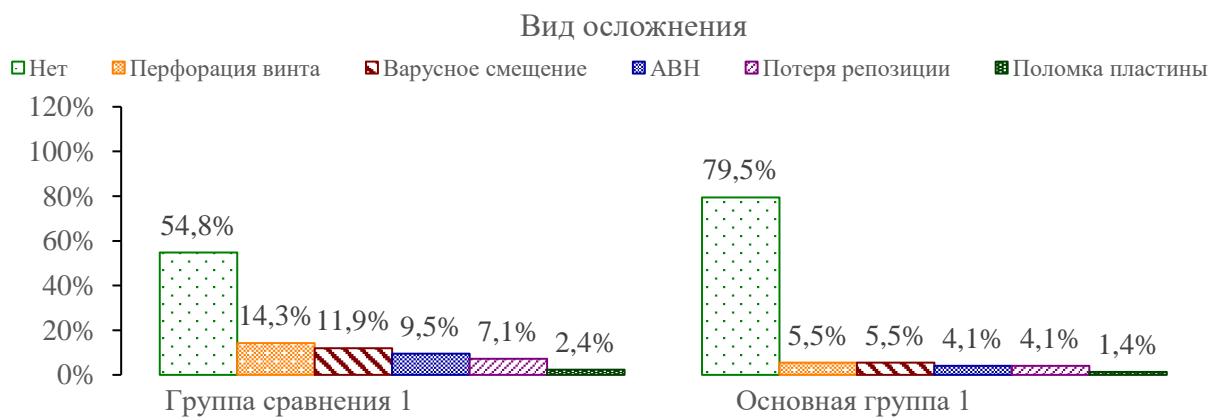


Рисунок 4.7 – Сравнение показателей групп пациентов по количеству и видам осложнений

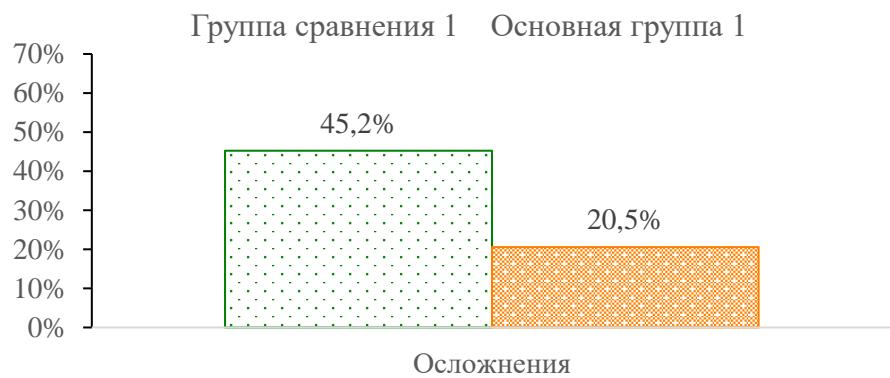


Рисунок 4.8 – Частота встречаемости осложнений у исследуемых групп пациентов

Наиболее часто встречались такие осложнения, как перфорация (прободение) винта в сустав (10) и варусное смещение проксимального отдела плечевой кости (9) (рисунки 4.9 и 4.10).



Рисунок 4.9 – Рентгенограмма в боковой проекции – признаки прободения винта в полость плечевого сустава (собственное наблюдение)

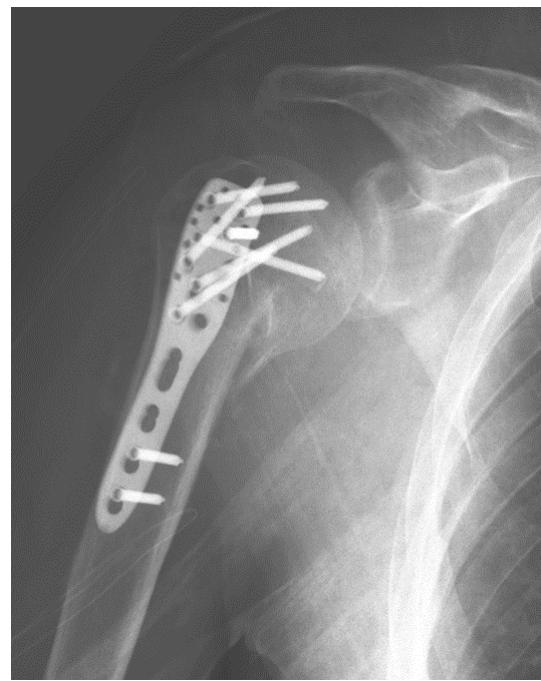
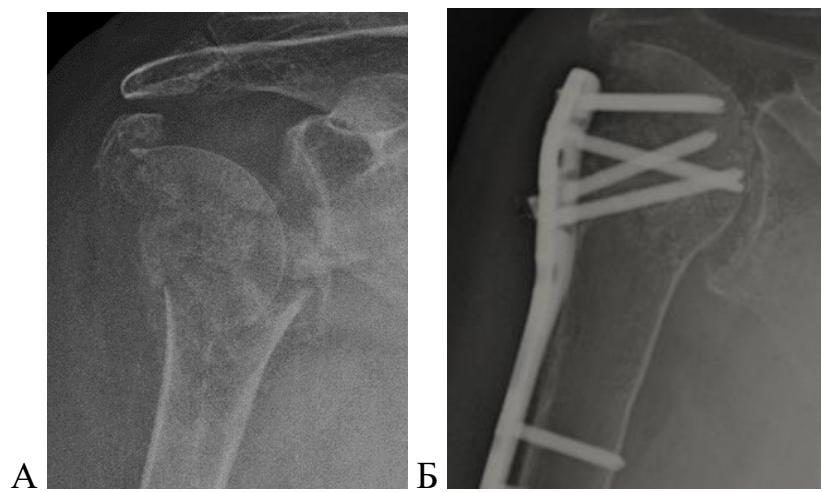


Рисунок 4.10 – Рентгенограмма в переднебоковой проекции – признаки углового смещения головки плечевой кости в варусную позицию в условиях накостного остеосинтеза (собственное наблюдение)

Другими часто встречамыми осложнениями были АВН головки плечевой кости (7) и потеря репозиции (6) (рисунок 4.11, А-Г).



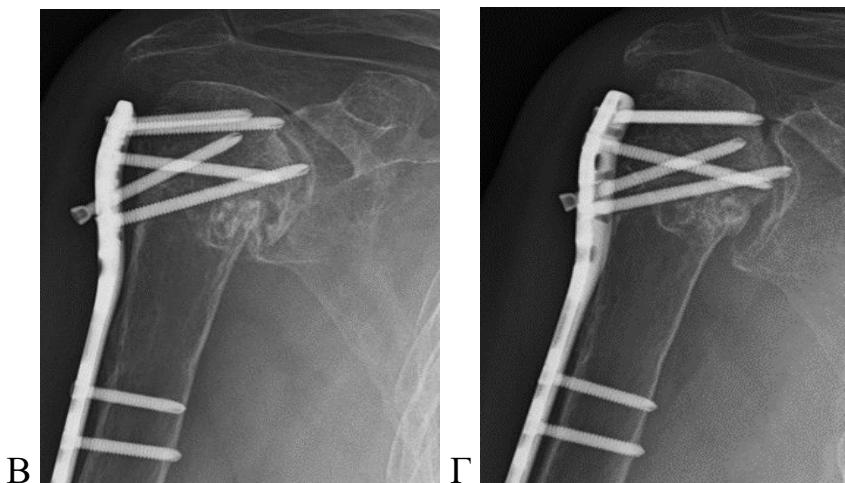


Рисунок 4.11 – Аваскулярный некроз по стадиям формирования на рентгенограммах (собственное наблюдение)

А – оскольчатый перелом проксимального отдела плечевой кости, Б – накостный остеосинтез пластиной и винтами; В – аваскулярный некроз и перфорация винта, Г – прогрессия аваскулярного некроза с нарушением сферичности и деформацией головки плечевой кости

В случае перелома типа Neer II способ МИНО имел меньшее количество осложнений (6 осложнений МИНО - 12%; 8 ОРИФ - 38,1%,  $p = 0,012$ ), при Neer III сопоставимое количество осложнений (6 МИНО - 30%; 7 ОРИФ - 46,7%,  $p = 0,313$ ), при Neer IV ОРИФ показал лучше результаты с меньшим количеством осложнений (3 МИНО - 100%), 4 ОРИФ - 66,7%),  $p = 0,257$ ).

У пациентов младше 60ти лет не отмечалось поломок пластины, реже встречались остальные виды осложнений (4 младше 60ти лет (7,5%) и 30 старше 60ти лет (48,4%),  $p < 0,0001$ ): у 92,5% пациентов не отмечались никаких из вышеуказанных осложнений (рисунок 4.12).

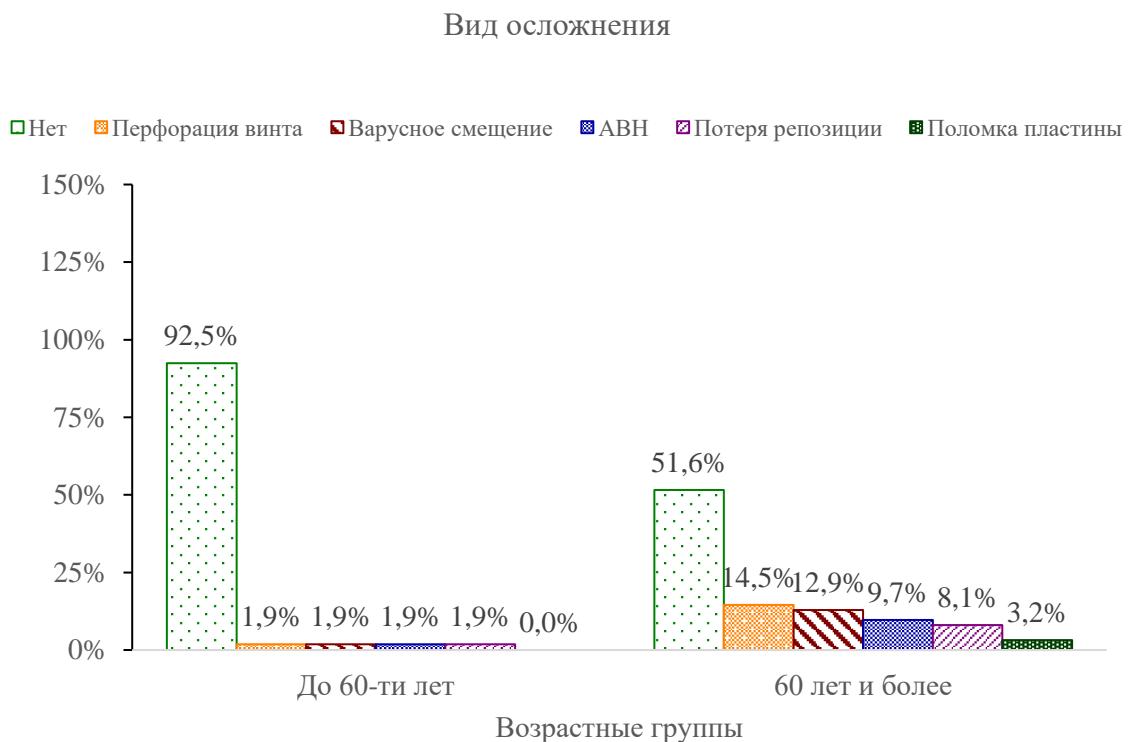


Рисунок 4.12 – Сравнение показателей частоты встречаемости разных видов осложнений при оперативном лечении пациентов младше и старше 60ти лет

В связи с тем, что пациентов младше 60ти лет с двухфрагментарными переломами было больше в «Основной группе 1», которые оказывали влияние на результаты общей когорты при сравнении с «Группой сравнения 1», в дальнейшем рассматривали объединенные группы по сложности перелома, Neer III + Neer IV, и сравнивали между собой по исследуемым способам накостного остеосинтеза. Это позволило получить достоверные статистические результаты сравнения способов накостного остеосинтеза при сложных типах переломов (Neer III и Neer IV). Группы при таком распределении оказались однородными и практически эквивалентными по количеству пациентов и количеству осложнений (таблица 4.8, рисунок 4.13).

Таблица 4.8 – Сравнительный анализ способов накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости типов Neer III и Neer IV по количеству осложнений

Показатель	Основная группа 1 (МИНО) (N=23)	Группа сравнения 1 (ОРИФ) (N=21)	Уровень Р (df=1)
Осложнения	9 (39,1%)	11 (52,4%)	0,378

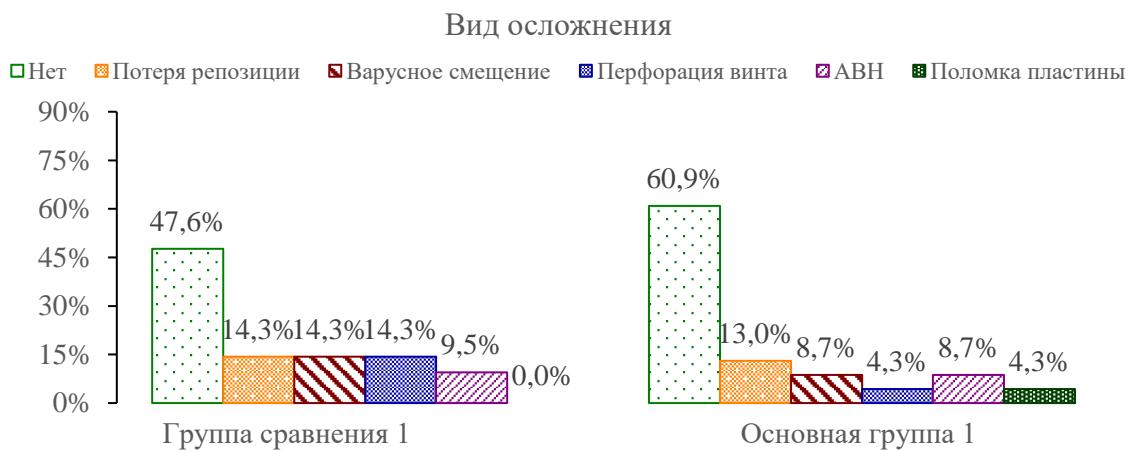


Рисунок 4.13 – Сравнение показателей частоты встречаемости разных видов осложнений у изучаемых групп пациентов при переломах типов Neer III и Neer IV

В объединенных группах исследования Neer III + Neer IV способ МИНО также показал меньшее количество осложнений (39,1%). Однако, при отдельном рассмотрении Neer III и Neer IV были получены следующие результаты:

Наименьшее количество осложнений было в группе Neer III у метода МИНО, при большем количестве пациентов младше 60ти лет ( $58,8 \pm 15,3$  лет). Отмечалась лучше функция по результатам шкал опросников (DASH: ОРИФ  $7,5 \pm 8,3$  / МИНО  $9,3 \pm 4,6$ ,  $p=0,04$ ; CSS: ОРИФ  $84,4 \pm 14,1$  / МИНО  $81,2 \pm 5,5$ ,  $p=0,007$ ).

Наибольшее количество осложнений при переломах Neer IV было отмечено в «Основной группе 1»: 3 осложнения у трех пациентов. В случае

применения ОРИФ риск осложнения был ниже (4 осложнения у 6 пациентов (66,7%). При оценке функции плечевого сустава в отдаленном периоде «Группа сравнения 1» показала лучшие результаты (DASH: ОРИФ  $31,7 \pm 16,2$  / МИНО  $43,7 \pm 5,3$ ,  $p=0,439$ ; CSS: ОРИФ  $50,5 \pm 25,1$  / МИНО  $33,3 \pm 4,6$ ,  $p=0,795$ ).

В 9 (7.8%) случаях выполнялся мостовидный вид фиксации при накостном остеосинтезе по поводу оскольчатого перелома метафизарной зоны при типе Neer III (4 (3,5%) и типе Neer IV (5 (4.3%). Из них в 6 случаях выполнялся способ МИНО (Neer III 3, Neer IV 3) при этом в Neer III произошла поломка пластины у одного пациента (рисунок 4.14), потеря репозиции у двух пациентов (рисунок 4.15, А-В).



Рисунок 4.14 – Рентгенограмма накостного остеосинтеза проксимального отдела правой плечевой кости с развитием поломки пластины (собственное наблюдение)

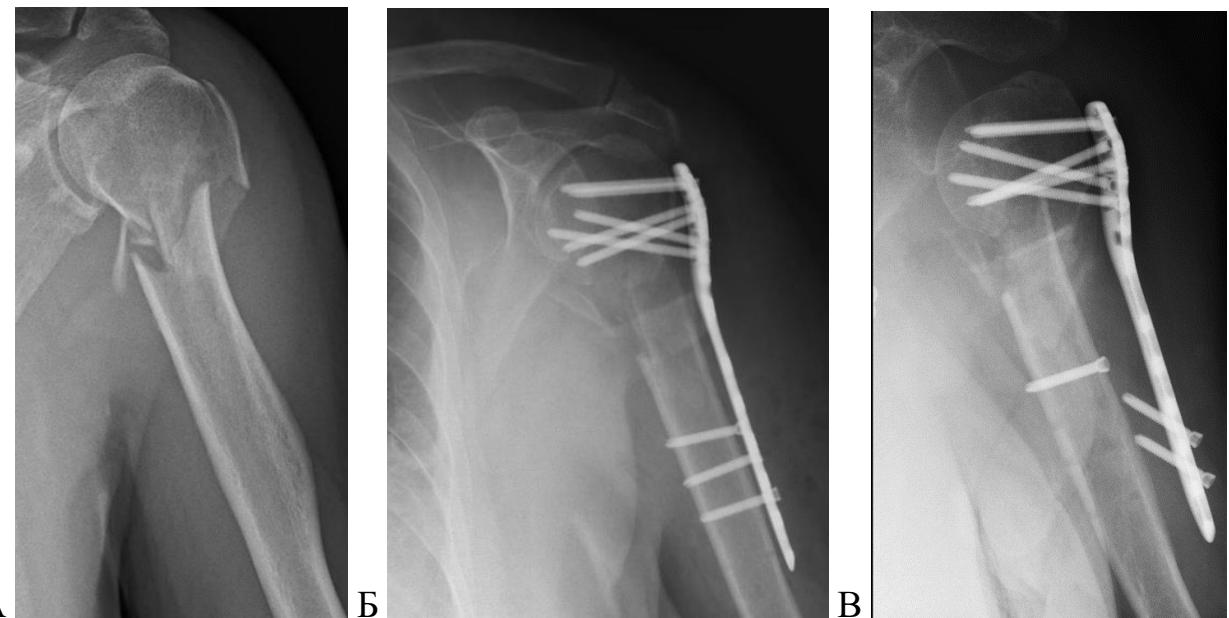


Рисунок 4.15 – Рентгенограмма накостного остеосинтеза проксимального отдела левой плечевой кости пластиной с развитием потери репозиции (собственное наблюдение)

А – Оскольчатый перелом метафизарной зоны проксимального отдела плечевой кости; Б – Накостный остеосинтез пластиной и винтами; В – признаки потери репозиции перелома проксимального отдела плечевой кости, миграции металлоконструкций и смещения костных отломков.

Кроме того, поломка пластины была выявлена у пациента с двухфрагментарным переломом проксимального отдела плечевой кости после выполнения накостного остеосинтеза по способу ОРИФ. Со слов пациентов, такие осложнения, как «поломка пластины и потеря репозиции» (всего 6: 2 поломки пластины, 4 потеря репозиции) происходили без видимой причины: через месяц в пяти случаях во время движения оперированной верхней конечности в плечевом суставе возникала резкая боль и щелчок, после которых проявлялась деформация в проксимальном отделе плеча. Одна пациентка через 1,5 месяца с момента выполнения оперативного вмешательства во время реабилитации начала ощущать «похрустывание» в оперированном плечевом суставе, что за последующие две недели привело к развитию патологической подвижности проксимального отдела плечевой кости. Эти пациенты явились на

консультации и контрольные осмотры, по результатам которых было принято решение о выполнении реостеосинтеза в четырех случаях и эндопротезирования в двух случаях.

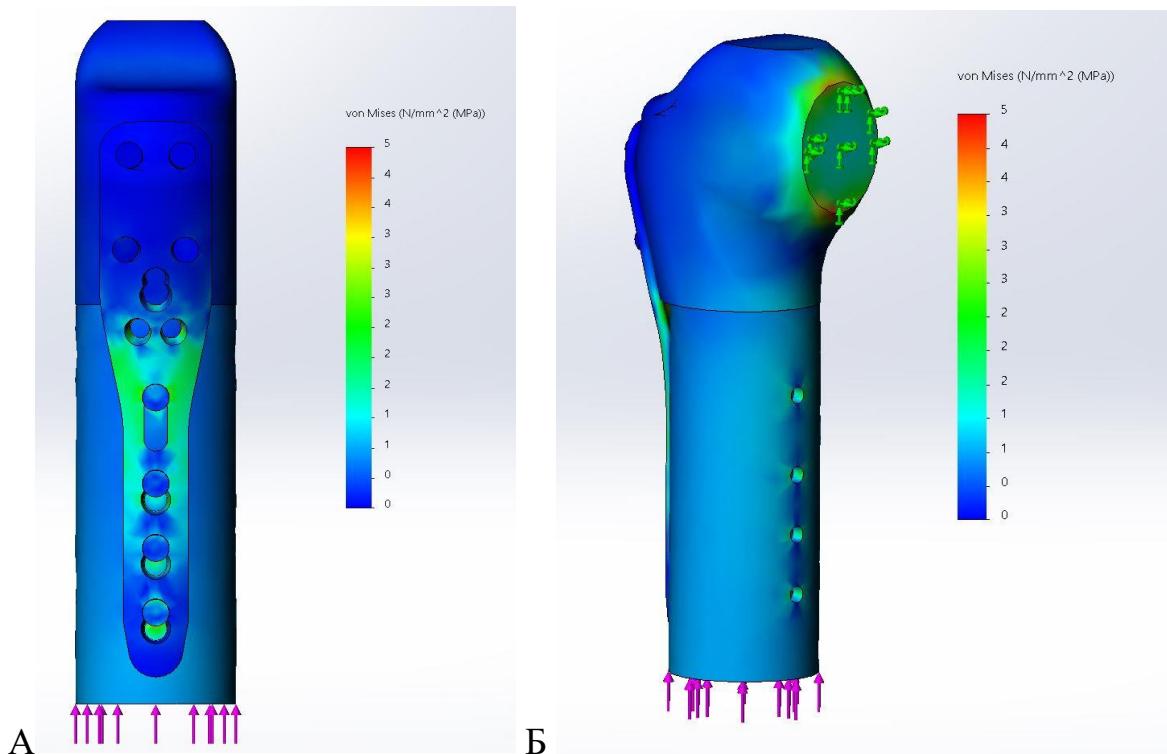
Полученные результаты, свидетельствующие о рисках «потери репозиции и поломки пластины» на этапах реабилитации, потребовали проведения экспериментального исследования с целью определения предпосылок к их развитию.

## ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСПЕКТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### 5.1 Экспериментальный раздел: физико-математический и конечно-элементный анализ моделей перелома проксимального отдела плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза

Накостный остеосинтез переломов при мостовидной технике фиксации приводит к существенной нагрузке на пластину и винты: эту гипотезу можно предположить при исследовании осложнений, описанных в Главе 4. С целью исследования напряжения на пластине были смоделированы различные клинические ситуации и произведена их оценка методом конечно-элементного анализа.

Был смоделирован сценарий плотного межфрагментарного контакта отломков при остеосинтезе пластиной с угловой стабильностью: без зазора между костными отломками (рисунок 5.1, А-В).



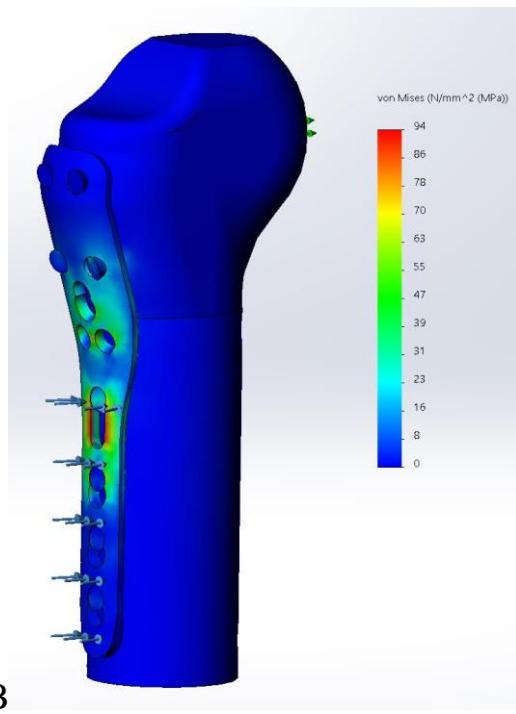


Рисунок 5.1 – Модель плотного контакта фрагментов перелома

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

В этой экспериментальной модели были получены следующие результаты:

- 1) При нагрузке в 100 Н – сила, приложенная перпендикулярно оси плечевой кости, которая соответствовала отведению в плечевом суставе. Было выявлено большее концентрационное напряжение на отверстиях для винтов в средней части пластины. При этом отсутствовали критические напряжения на других участках пластины.
- 2) При нагрузке в 300 Н – сила, приложенная по оси плечевой кости. Не были выявлены выраженные концентрационные напряжения. Напряжение равномерно концентрировалось по средней части пластины без признаков

наличия зон перегрузок. При этом также отсутствовали критические напряжения в других участках пластины.

На представленных расчетах модели плотного межфрагментарного контакта перелома в условиях накостного остеосинтеза были показаны повышенные нагрузки на пластину при отведении в плечевом суставе, а также область, наиболее подверженная перегрузкам и поломке. При осевой нагрузке эти значения были выражены меньше.

В случаях оскольчатых переломов с минимальным кортикальным контактом в месте перелома, пластина выдерживала значительные циклические напряжения ввиду мостовидного характера фиксации. Эти сценарии несли дополнительный риск потери репозиции или пластической деформации, характеризующейся усталостной поломкой пластины. Причем при осевой нагрузке в 300 Н появлялись признаки концентрации напряжений на отверстиях для винтов посередине пластины. В случае отведения в плечевом суставе указанные пиковые концентрации напряжения уже появлялись при нагрузке в 100 Н. (рисунок 5.2, А, Б).

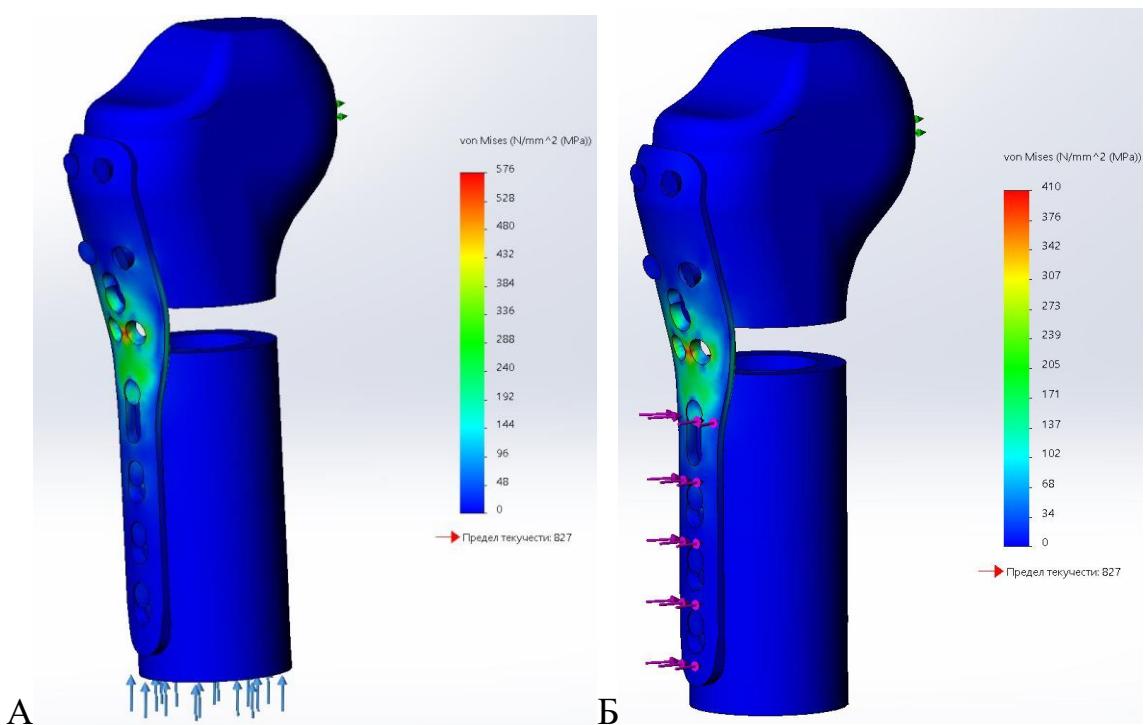


Рисунок 5.2 – Модель остеосинтеза оскольчатого перелома метафизарной зоны

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

Для того, чтобы снизить нагрузку на пластины и центральные отверстия для винтов, был изменен вид фиксации пластины к кости и добавлены дополнительные диагональные винты к проксимальному фрагменту (рисунок 5.3, А, Б).

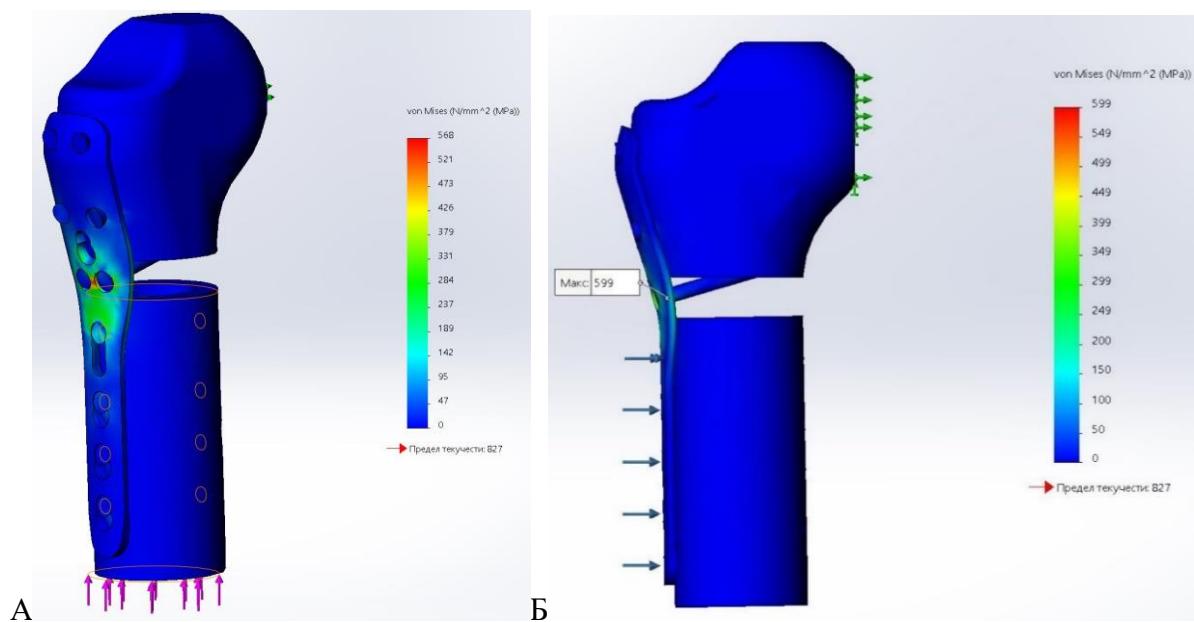


Рисунок 5.3 – Модель фиксации перелома с оскольчатой метафизарной зоной при помощи опорных винтов к проксимальному фрагменту

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 дополнительных 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

В результате не было отмечено значимого изменения напряжений на деформацию пластины при указанных векторах сил. Пиковые напряжения и их концентрация оставались в прежних диапазонах, и результаты были сопоставимы с предыдущим видом фиксации. Кроме того, отведение в плечевом суставе также оказывало наибольшее напряжение на пластину в центральной части.

С целью опровержения гипотезы о том, что отсутствие отверстий в центре пластины может исключить представленные риски поломки и перегрузки пластины, в экспериментальной модели они были монолитно закрыты (рисунок 5.4, А, Б).

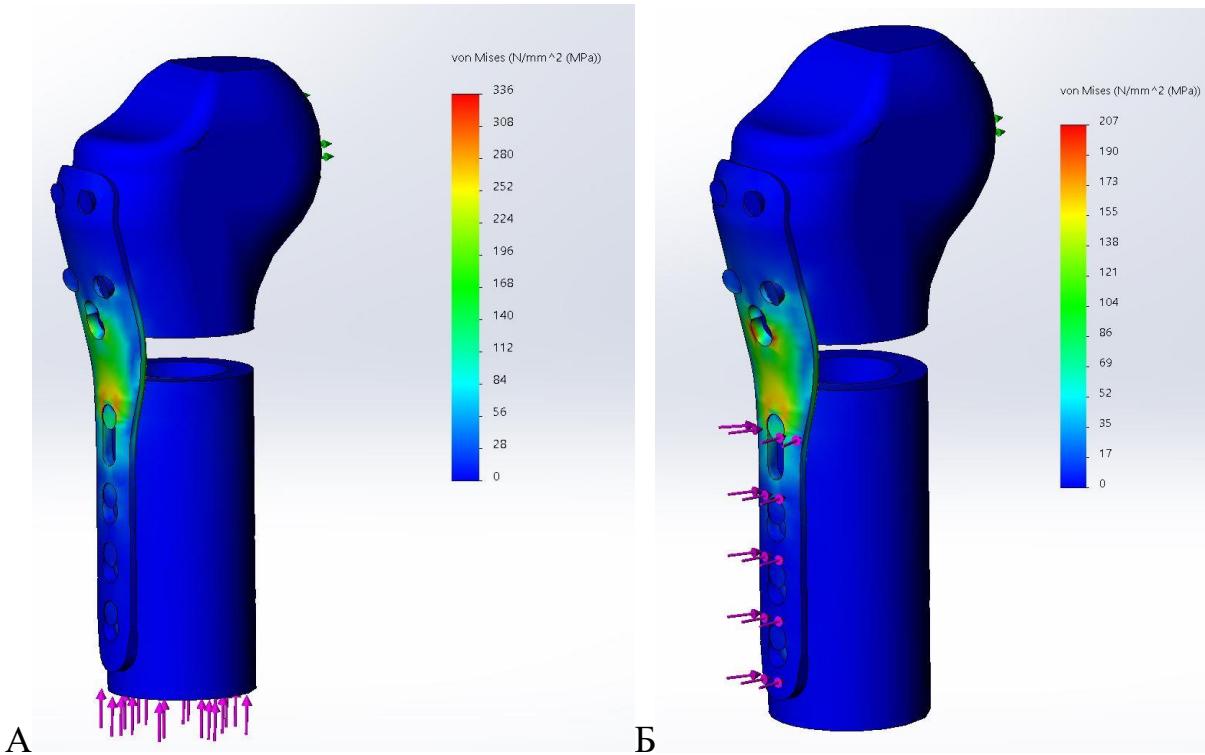


Рисунок 5.4 – Модель с монолитным закрытием центральных отверстий пластины

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

Однако, результаты не показали существенного изменения напряжений. Вместе с тем, напряжение перераспределилось на соседние отверстия с пиковой концентрацией на них, что особенно выражалось при отведении в плечевом суставе. Итого, расшатывание винтов с потерей репозиции и поломка пластины также сохранялись на центральном участке, поскольку нагрузка смешалась в сторону винтов, и они получали предпосылки к вырыванию.

Модели конечно-элементного анализа клинической фиксации переломов, как и их настольные аналоги, обычно рассматривают только начальную фазу после операции без какого-либо первичного или вторичного заживления кости. В проведенном исследовании был предложен расчет отдаленного послеоперационного периода. Для этого анализа, когда сформирована плотная костная мозоль, моделировали консолидированный в условиях накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью перелом проксимального отдела плечевой кости (рисунок 5.5, А-В).

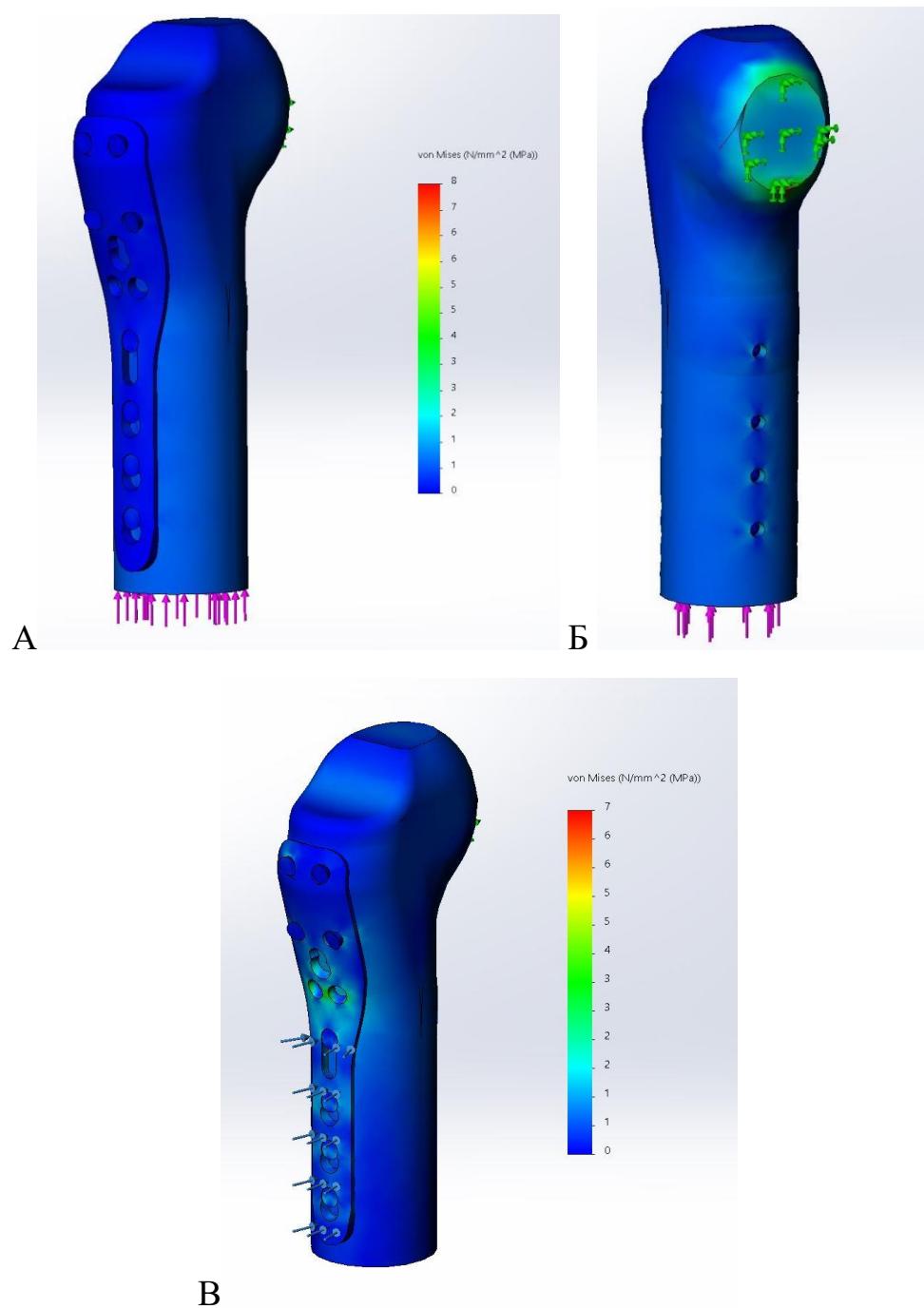


Рисунок 5.5 – Модель консолидированного в условиях накостного остеосинтеза перелома. А: напряжение на деформацию пластины при осевой нагрузке в 300 Н – пластина не испытывает напряжения, Б: отверстия от винтов в медиальном кортиcale плечевой кости испытывают напряжения в пределах текучести, В: напряжение 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

Проанализировав полученные схемы, были получены следующие результаты (в случае консолидации перелома):

- металлофиксаторы продолжают претерпевать напряжение, но во много раз в меньших объемах;
- центральный участок пластины также претерпевает нагрузки, но они больше распределены по пластине, вместе с тем, также больше выражены при отведении в плечевом суставе;
- напряжение на винты внутрикостно и по медиальному кортикалу возрастает.

Моделирование и конечно-элементный анализ позволяет решить все задачи, за исключением одной: повреждение во время вкручивания винта и другого нелинейного подхода, использующего контактные условия.

## **5.2 Алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости и дифференцированный реабилитационный протокол послеоперационного ведения пациентов**

Результаты сравнительного анализа способов ОРИФ и МИНО у двух групп пациентов «Группа сравнения 1» и «Основная группа 1», а также физико-математический и конечно-элементный анализы продемонстрировали аспекты применения накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости, а также позволили обратить внимание на риски развития неудовлетворительных исходов оперативного лечения. Ввиду того, что МИНО является наиболее перспективным, исходя из проведенного ретроспективного исследования, были предложены тактика его выбора в зависимости от сложности

перелома и особенности послеоперационного ведения для получения лучшего результата лечения.

Алгоритм выбора накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости при помощи способов МИНО и ОРИФ представлен на рисунке 5.6. При четырехфрагментарных переломах МИНО не рекомендуется к использованию ввиду высоких рисков получения неудовлетворительных результатов.

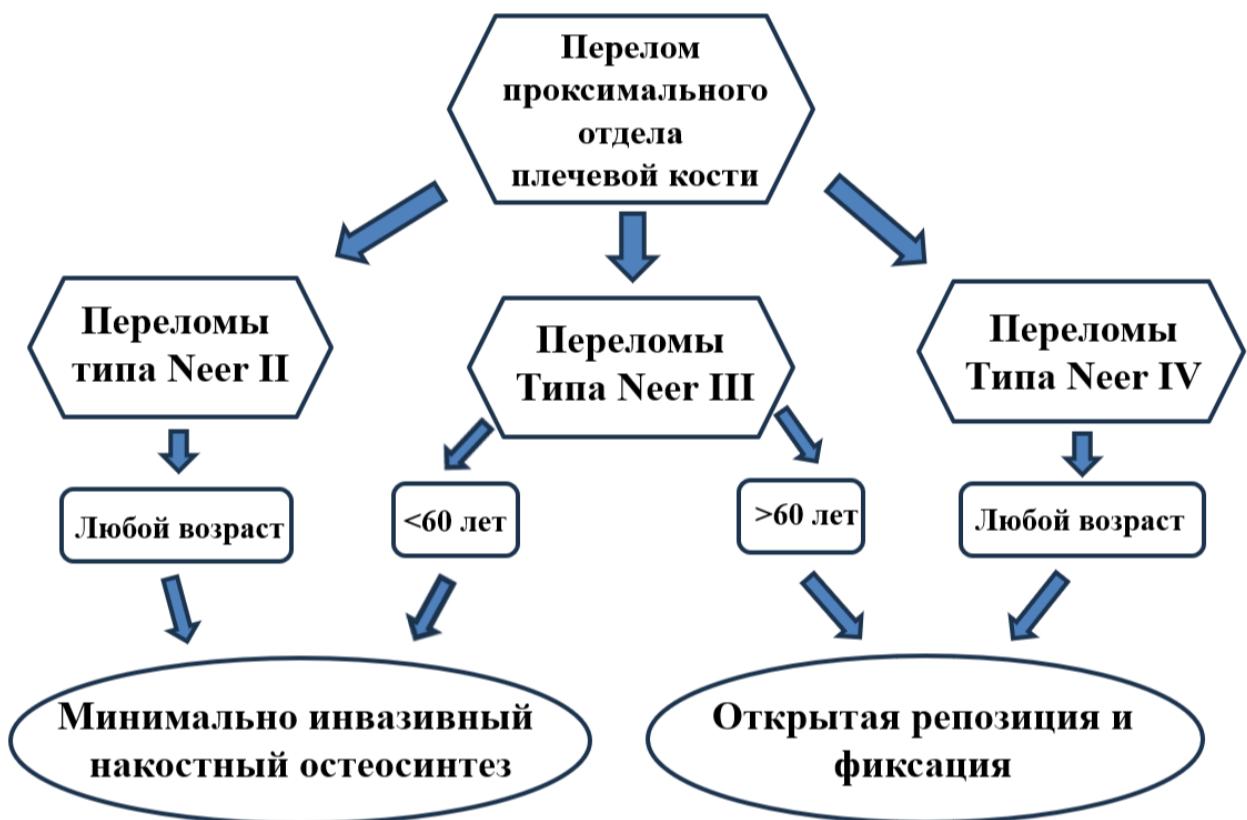


Рисунок 5.6 – Алгоритм выбора способа накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости в зависимости от сложности перелома и возраста пациента

Рекомендуемая дифференцированная реабилитационная программа по выполнению движений в раннем послеоперационном периоде для профилактики развития контрактур суставов оперированной верхней конечности была нами пересмотрена по результатам проведенного компьютерного моделирования и

конечно-элементного анализа. Нами были выделены контрольные сроки для этапной активизации оперированного плеча в зависимости от вида фиксации кости: плотный межфрагментарный контакт и мостовидная фиксация перелома (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 – Дифференцированный реабилитационный протокол после минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости в случае плотной межфрагментарной фиксации и мостовидной фиксации перелома

В случае плотного межфрагментарного контакта перелома выделены следующие этапы послеоперационного ведения пациентов:

I этап – до 3х недель с момента операции: Лечебная физическая культура (ЛФК) с использованием пассивных движений в плечевом суставе с

исключением отведения. По исходу этого срока выполнялась рентгенография плечевого сустава в двух проекциях. При сохранении репозиции пациент переходил на второй этап реабилитации, при наличии признаков смещения отломков – дополнительные 2 недели того же режима.

II этап – 4-6 недель с момента операции: ЛФК с использованием активных движений, за исключением отведения: выполнялось пассивное отведение с поддержкой дистального от перелома сегмента конечности. По исходу этого срока выполнялась рентгенография плечевого сустава в двух проекциях. При сохранении репозиции пациент переходил на третий этап реабилитации, при наличии признаков смещения отломков – дополнительные 2 недели того же режима.

III этап – 6-9 недель с момента операции: ЛФК с использованием активного отведения в плечевом суставе. Далее пациенту разрешалось отменять иммобилизацию косыночной повязкой и выполнять укрепление мышц плечевого пояса под контролем врача реабилитолога.

В случае мостовидной фиксации перелома выделены следующие этапы послеоперационного ведения пациентов:

I этап – до 3х недель с момента операции: исключение выполнения ЛФК в плечевом суставе. По исходу этого срока выполнялась рентгенография плечевого сустава в двух проекциях. При сохранении репозиции пациент переходил на второй этап реабилитации, при наличии признаков смещения отломков – дополнительные 2 недели того же режима.

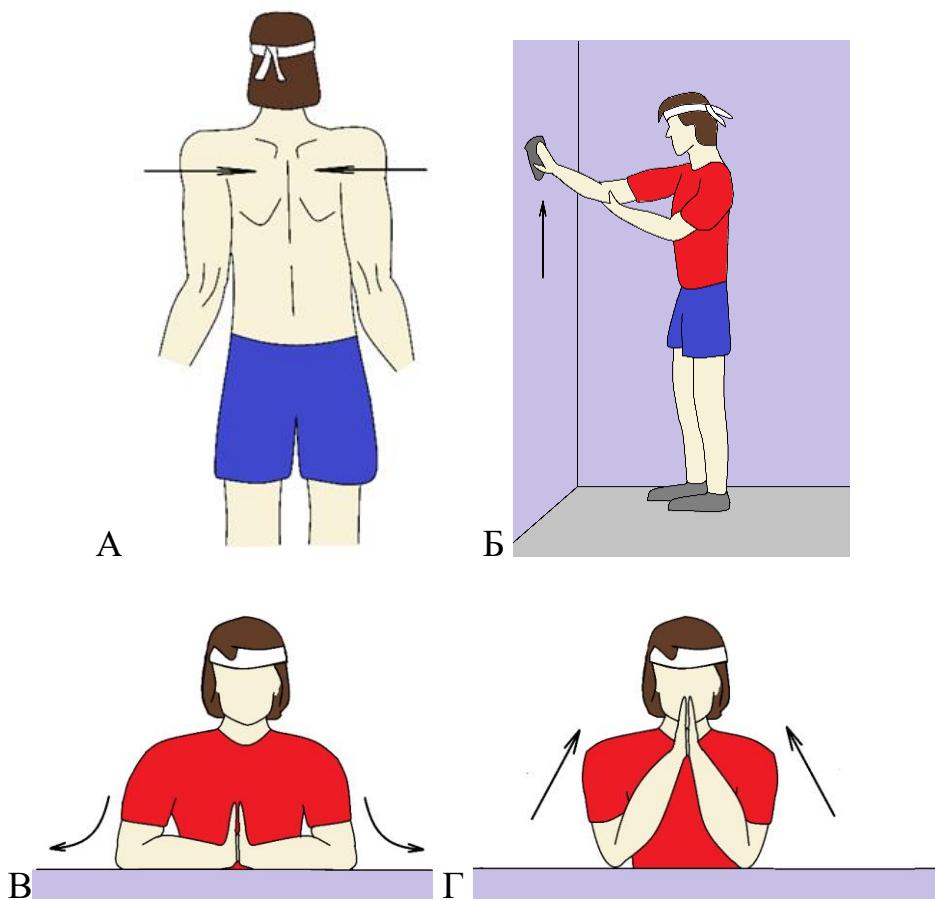
II этап – до 4-6 недель с момента операции: ЛФК с использованием пассивных движений в плечевом суставе с исключением отведения. По исходу этого срока выполнялась рентгенография плечевого сустава в двух проекциях. При сохранении репозиции пациент переходил на второй этап реабилитации, при наличии признаков смещения отломков – дополнительные 2 недели того же режима.

III этап – 6-9 недель с момента операции: ЛФК с использованием активных движений, за исключением отведения: выполнялось пассивное отведение с

поддержкой дистального от перелома сегмента конечности. По исходу этого срока выполнялась рентгенография плечевого сустава в двух проекциях. При сохранении репозиции пациент переходил на третий этап реабилитации, при наличии признаков смещения отломков – дополнительные 2 недели того же режима.

IV этап – 9-12 недель с момента операции: ЛФК с использованием активного отведения в плечевом суставе. Далее пациенту разрешалось отменять иммобилизацию косыночной повязкой и выполнять укрепление мышц плечевого пояса под контролем врача реабилитолога.

В соответствии с алгоритмом выбора и дифференцированным реабилитационным протоколом выполнение активных движений начинали при сохранении репозиции на указанных сроках, а ранние пассивные движения разрешали выполнять безопасно при поддержке дистального от перелома сегмента верхней конечности (рисунок 5.8, А-Е).



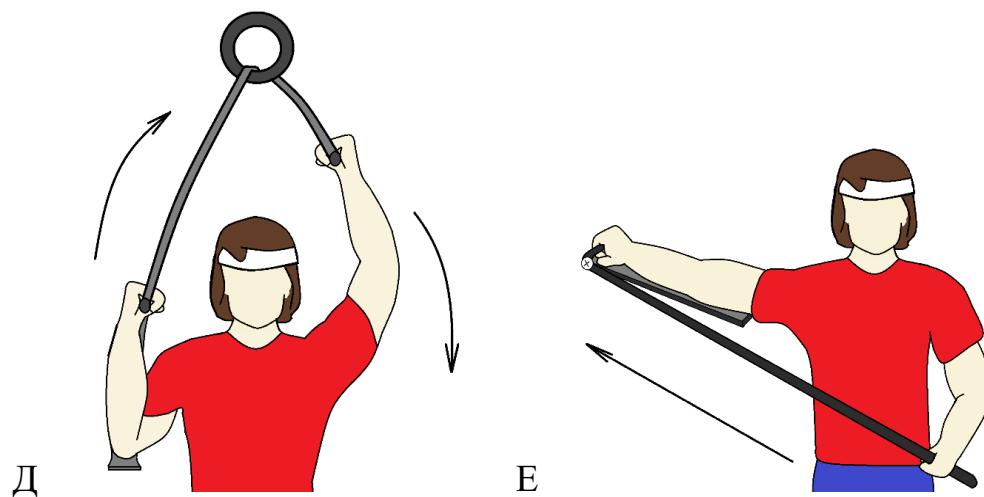


Рисунок 5.8 – Упражнения выбора после оперативного лечения перелома проксимального отдела плечевой кости для пассивной разработки движений через 3 недели при условии отсутствия потери репозиции на рентген-контроле (схематическое изображение автора)

А – сведение лопаток, Б – прямое сгибание при поддержке дистального от перелома сегмента оперированной верхней конечности и скольжение по стене, ВГ – сведение и разведение локтевых суставов при поддержке о стол, ДЕ – применение гимнастического инструментария с поддержкой дистального сегмента оперированной верхней конечности

Для определения эффективности применения алгоритма выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости и дифференцированного реабилитационного протокола было проведено исследование. Дополнительно была введена проспективная группа пациентов, оперированных способом МИНО с учетом алгоритма выбора и дифференцированного реабилитационного протокола.

### **5.3 Анализ эффективности минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости с использованием алгоритма выбора и дифференцированного реабилитационного протокола и без их применения**

При исследовании результатов оперативного лечения с использованием способа МИНО вне зависимости от применения алгоритма выбора и дифференцированного реабилитационного протокола подтвердились данные, сообщающие об ухудшении показателей у пациентов старшей возрастной группы по всем сравниваемым признакам, что доказало их верное отнесение к группе риска при накостном остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости. Эти результаты представлены в сравнительной таблице (таблица 5.1).

**Таблица 5.1 – Сравнение результатов показателей шкал опросников функции плеча у групп пациентов при минимально инвазивном накостном остеосинтезе перелома проксимального отдела плечевой кости**

<b>Показатели</b>	<b>Минимально инвазивный способ накостного остеосинтеза</b>		<b>Уровень <i>p</i></b>
	<b><math>M \pm S</math> (N=58)</b> <b>До 60 лет</b> <b>Me [Q1; Q3]</b>	<b><math>M \pm S</math> (N=53)</b> <b>60 лет и более</b> <b>Me [Q1; Q3]</b>	
<b>DASH, баллы</b>	3,2 [2,4; 4,7]	3,8 [2,8; 8,2]	0,08
<b>CSS, баллы</b>	91,0 [88,2; 92,0]	90,0 [82,0; 93,0]	0,277

Алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости и дифференцированный реабилитационный протокол формировались на результатах предыдущих глав исследования.

С целью анализа эффективности алгоритма выбора и дифференцированного реабилитационного протокола, была выделена ретроспективная группа «Группа сравнения 2» N=73 (выбор способа накостного остеосинтеза и ведение пациента в послеоперационном периоде в соответствии с стандартными протоколами) и «Основная группа 2» N=38, проспективная группа. Техника выполнения МИНО не отличалась в проспективной и ретроспективной группах.

«Основная группа 2» получила лучшие результаты при сравнении с алгоритмом ретроспективной группы. При эквивалентных показателях возраста и сроков выполнения оперативного лечения, вне зависимости от сложности перелома, «Основная группа 2» показала лучше функцию оперированного плеча через 1 год после операции. Вместе с тем, это не имело статистически значимой разницы по показателям шкал при сравнении с ретроспективной «Группой сравнения 2» (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Сравнение отдаленных результатов оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости у исследуемых групп пациентов по основным показателям возраста пациентов, длительности операции и шкалам опросников

Показатель	Группы пациентов		Уровень Р
	Основная группа 2 (N=38) Ме [Q1; Q3]	Группа сравнения 2 (N=73) Ме [Q1; Q3]	
<b>Возраст, лет</b>	58,5 [44,5; 68,7]	59,0 [43,0; 68,0]	0,833
<b>DASH, баллы</b>	3,3 [2,6; 5,1]	3,5 [2,4; 7,8]	0,369
<b>CSS, баллы</b>	91,0 [89,0; 92,7]	90,0 [84,0; 93,0]	0,327

Более показательным являлось рассмотрение представленных когорт пациентов по частоте встречаемости осложнений. Эти данные демонстрируют меньшее количественное и процентное соотношение осложнений у «Основной группы 2»: 10 (13,7%) в «Группа сравнения 2» против 2 (5,3%) в «Основной группе 2»,  $p=0,034$ . Осложнения, требовали детального рассмотрения и в некоторых случаях повторных операций. В их случае рассматривали аспекты анатомо-функциональных результатов применения обоих алгоритмов при переломах типа Neer II и Neer III (рисунки 5.9 и 5.10).

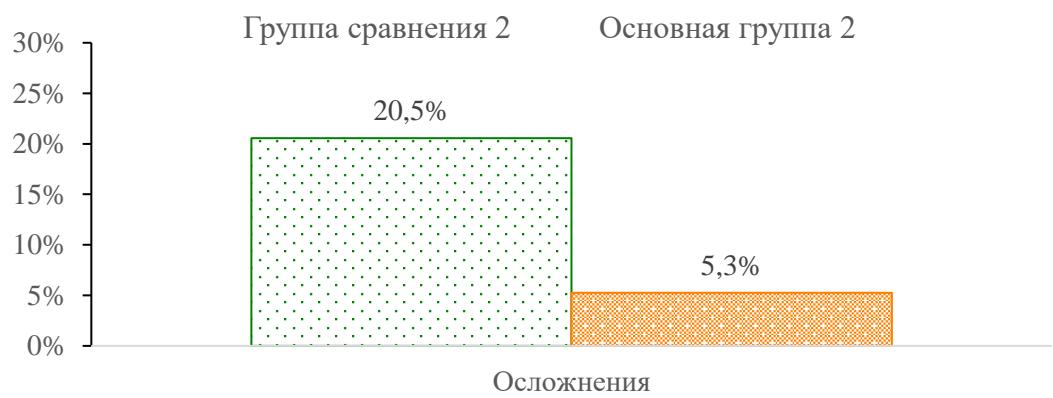


Рисунок 5.9 – Частота встречаемости осложнений у исследуемых групп пациентов с использованием минимально инвазивного накостного остеосинтеза

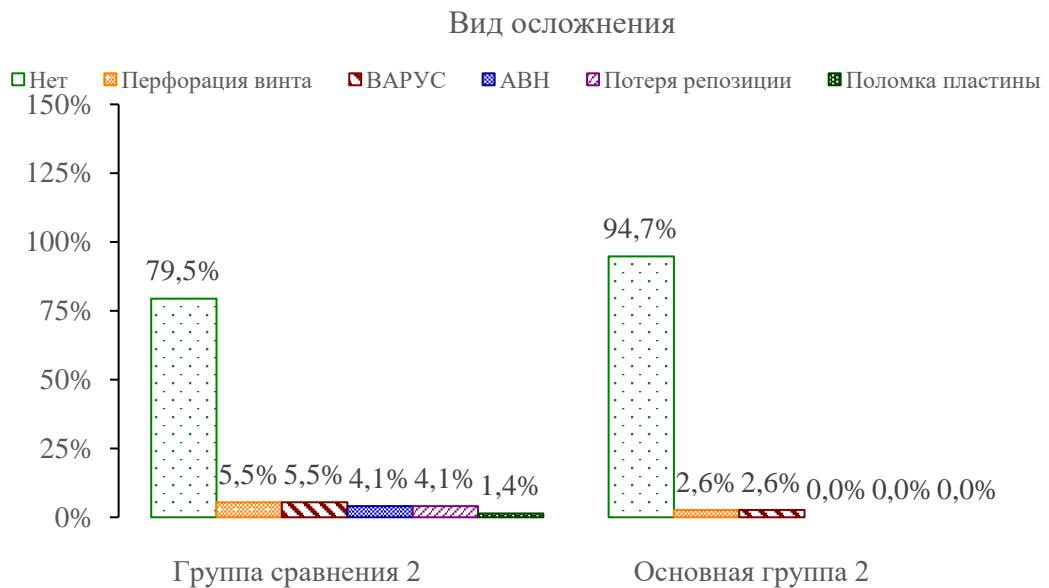


Рисунок 5.10 – Частота встречаемости видов осложнений у исследуемых групп пациентов при использовании минимально инвазивного накостного остеосинтеза

Результаты применения дифференцированного реабилитационного протокола и алгоритма выбора МИНО (Основная группа 2) показывают отсутствие осложнений при использовании у пациентов с переломами Neer II, отсутствие таких осложнений, как АВН, потеря репозиции и поломка пластины. При исследовании отдаленного функционального результата «Основная группа 2» также превосходила «Группу сравнения 2» по данным шкал опросников: Neer III DASH: МИНО 9,1 [5,4; 13,4] / МИНОх 5,3 [4,4; 7,0],  $p=0,021$ ; Neer III CSS: МИНО 82,0 [78,0; 85,5] / МИНОх 84,0 [83,0; 89,0],  $p=0,028$  (таблица 5.3). Дополнительно был проведен клинико-рентгенологический анализ осложнений сравниваемых групп пациентов. Результаты представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.3 – 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 (N=25) Me [Q1; Q3]		Группа сравнения 2 (N=50) Me [Q1; Q3]	Основная группа 2 (N=13) Me [Q1; Q3]	
<b>DASH, баллы</b>	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
<b>CSS, баллы</b>	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
<b>Количество осложнений</b>	0	6 (12%)	0,071	2 (15.4%)	6 (30%)	0,338

Таблица 5.4 – распределение видов осложнений в зависимости от типа перелома и группы пациентов

Тип перелома	Neer II		Neer III		Neer IV
	Группа пациентов	Основная группа 2	Группа сравнения 2	Основная группа 2	Группа сравнения 2
<b>Варусное смещение головки плечевой кости</b>	-	2	1	2	
<b>Аваскулярный некроз</b>	-	1	-	1	1
<b>Перфорация винта</b>	-	3	1	1	-
<b>Потеря репозиции</b>	-	-	-	1	2
<b>Поломка пластины</b>	-	-	-	1	-

Результаты анализа исследуемых групп пациентов после минимально инвазивного накостного остеосинтеза показывают превосходство созданного

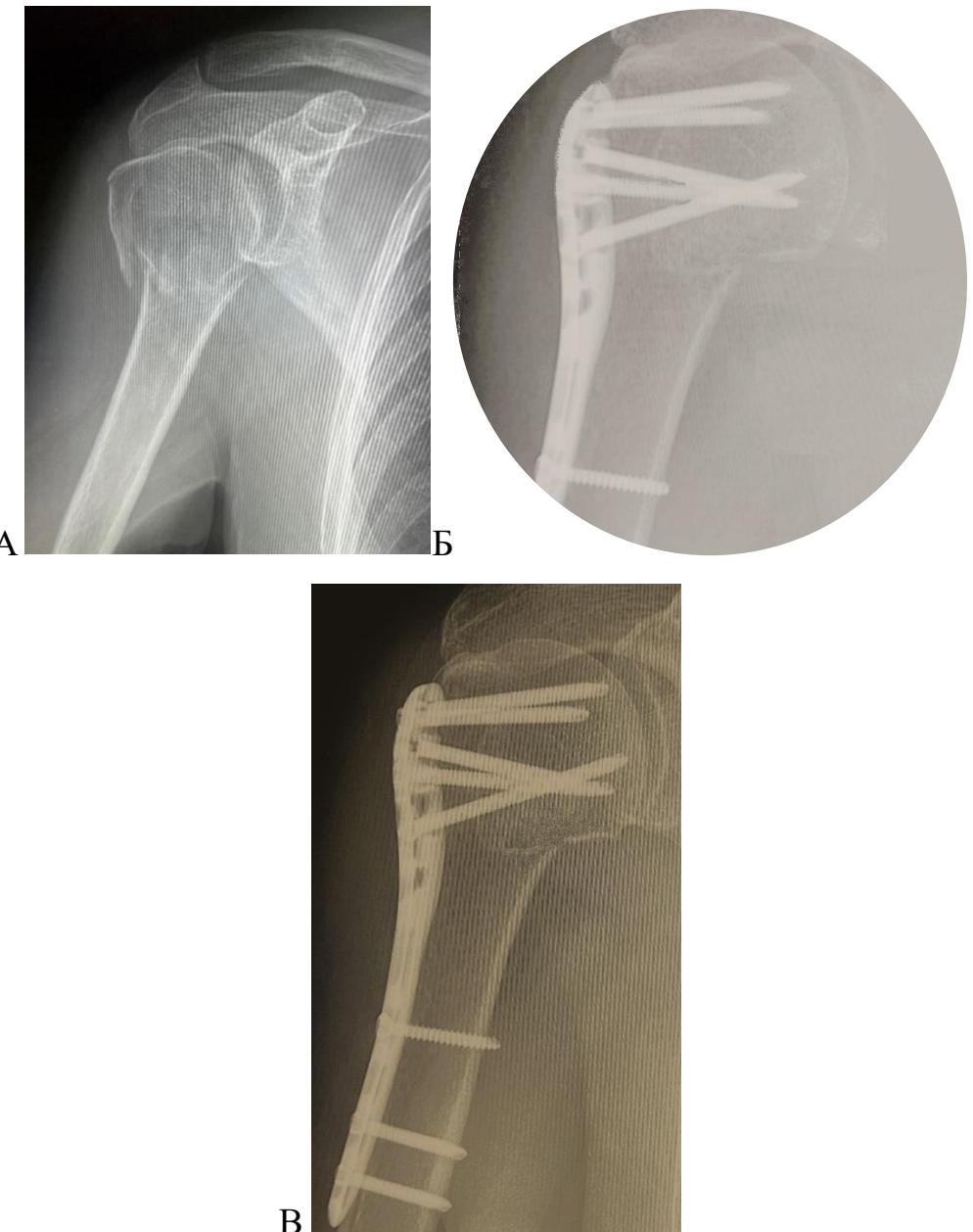
алгоритма по функции оперированного плечевого сустава в отдаленном послеоперационном периоде при использовании дифференцированного реабилитационного протокола, а также его клиническую безопасность применения с меньшими рисками развития осложнений. Отведение в плечевом суставе на ранних сроках послеоперационного периода является опасным видом реабилитационных движений, которое может повышать риски развития анатомо-функциональных осложнений. Этапное увеличение нагрузки на отведение возможно при контроле результатов рентгенологического исследования на сроках 3, 6, 12 недель после операции.

### **Клинический пример № 3:**

Пациент П., 47 лет, поступил в отделение травматологии и ортопедии ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ с жалобами на боли в области правой верхней конечности, деформацию верхней трети плеча и ограничение функции поврежденной конечности.

*Anamnesis morbi:* со слов пациента во время прогулки на улице оступился, ударился областью правого плеча суглоб в результате падения. Самостоятельно направился в приемное отделение ГБУЗ ГКБ №17 ДЗМ по принципу территориальной близости к месту травмы. Далее был осмотрен врачом травматологом-ортопедом, выполнена рентгенография правого плечевого сустава.

*Status localis:* на момент осмотра имелась отечность и деформация верхней трети плеча, болезненность и крепитации при пальпации в этой области, тест осевой нагрузки был положительным, объем движений был резко ограничен болевым синдромом. Острых нейроциркуляторных изменений выявлено не было. Диагностирован закрытый перелом проксимального отдела правой плечевой кости со смещением отломков по типу Neer III. В приемном отделении была выполнена иммобилизация поврежденной верхней конечности и госпитализация в травматологическое отделение. В первые сутки после травмы было выполнено оперативное вмешательство – накостный остеосинтез блокируемой пластиной с угловой стабильностью по МИНО (рисунок 5.11, А-Д).



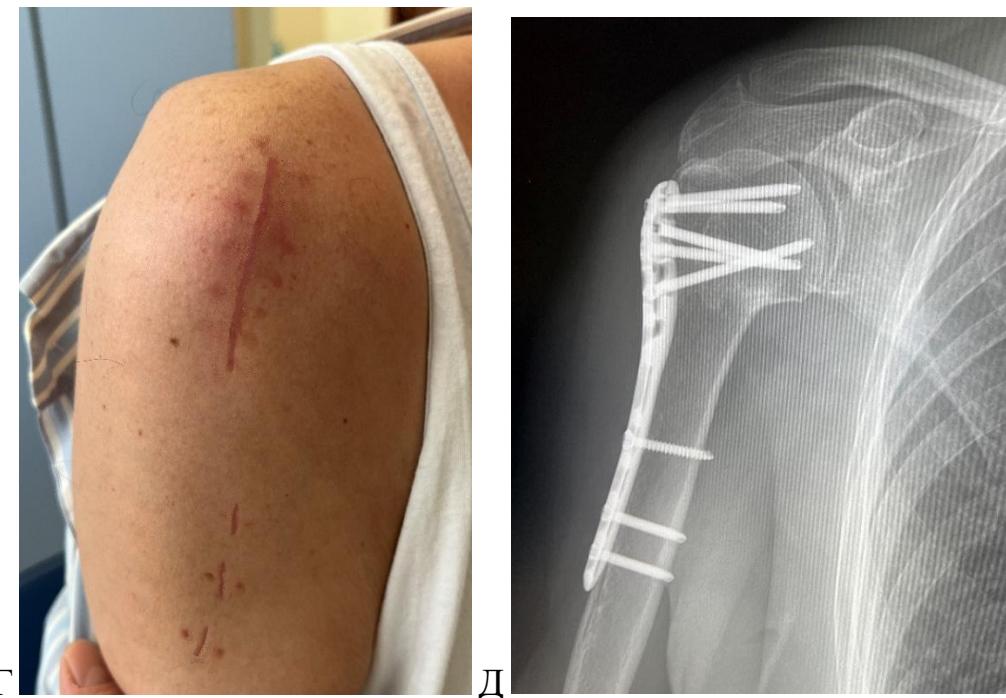


Рисунок 5.11 – Клинический пример минимально инвазивного накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости с использованием дифференцированного реабилитационного протокола

А – рентгенологические признаки трехфрагментарного перелома проксимального отдела плечевой кости со смещением отломков; Б – интраоперационные рентгенологические признаки накостного остеосинтеза перелома проксимального отдела плечевой кости с ЭОП; В – рентгенограмма через 3 недели с момента операции без признаков потери репозиции; Г – фото оперированного плеча через 3 недели после операции, хирургические рубцы от минимально инвазивного доступа правого плеча; Д – рентгенограмма через 6 недель с признаками начальной консолидации перелома проксимального отдела плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза пластиной и винтами

С первых суток после операции пациент был ознакомлен с дифференцированным протоколом послеоперационного ведения, пациент был консультирован врачом реабилитологом. Контрольный осмотр пациента осуществляли через 1, 3, 6, 12 месяцев с момента операции. Дополнительно

пациента приглашали на рентгенологический контроль с целью определения показаний для его перехода на следующие этапы реабилитации. Через 3 недели по результатам рентгенографии оперированного плечевого сустава не были выявлены признаки потери репозиции и смещения костных фрагментов, пациент начал пассивное отведение в плечевом суставе под контролем врача реабилитолога. Через 6 недель по результатам рентгенографии оперированного плечевого сустава были выявлены начальные признаки консолидации перелома, признаки сохранения репозиции, в связи с чем пациент под контролем врача реабилитолога начал активное отведение в плечевом суставе. Через год после операции: хирургический рубец безболезненный, не спаян с подлежащими мягкими тканями, эластичный при пальпации. Объем движений в правом плечевом суставе отведение книзу 125, сгибание 165, наружная ротация 50, внутренняя ротация 45, CSS 94, DASH 2.4.

Комментарий: представленный клинический пример оперативного лечения трехфрагментарного перелома демонстрирует отсутствие осложнений в послеоперационном периоде. Пациент не отмечал ограничения функции оперированного плеча в отдаленном периоде. После выполнения накостного остеосинтеза проксимального отдела плечевой кости при помощи минимально инвазивного доступа рубцово-спаечный процесс был не выражен, что проявлялось не только в консистенции хирургического рубца, но и ходе реабилитации. В виду контроля консолидации и положения металлофиксаторов, врач реабилитолог давал упражнения для этапного увеличения нагрузок на отведение, что исключило риски поломки фиксатора и потери репозиции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время до сих пор остаются нерешенными вопросы тактики оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости и послеоперационного ведения пациентов [10, 26, 40, 50, 78, 86, 94]. В литературе описано около 40 различных методов оперативного лечения переломов проксимального отдела плечевой кости. Неясность в выборе метода остеосинтеза при той или иной сложности перелома приводит к повышению рисков развития осложнений [14, 20, 107]. Наиболее часто применяемым является метод накостного остеосинтеза, который за последние десятилетия претерпел существенную модернизацию в связи с развитием понятия о минимально инвазивной установке пластины в травмированную область [5, 11, 22]. Несмотря на явные преимущества способа МИНО перед способом ОРИФ [57], нет определенных показаний к их применению в конкретных клинических ситуациях. Кроме того, метод накостного остеосинтеза активно не рассматривался с точки зрения биомеханики напряжений на пластину в раннем и отдаленном послеоперационных периодах, что не позволяет стандартизировать для всех пациентов правильное начало реабилитационных мероприятий и прогноз полного функционального восстановления. Медиальная колонна проксимального отдела плечевой кости постоянно под нагрузкой вне зависимости от вектора силы: аксиальная нагрузка, горизонтальный сдвиг или крутящий момент [60]. Клинические исследования показали, что одним из типичных видов неудач является смещение проксимального фрагмента в варусную позицию с последующим прободением винта в полость сустава [83]. Конечно-элементный анализ позволяет исследовать нагрузки на металлофиксаторы при разных заданных условиях остеосинтеза. Это определяется его преимуществами перед кадаверными исследованиями. В экспериментальных моделях определенные аспекты, такие как поведение материала (внутренние деформации), затруднены или невозможны [85].

Возможность исследовать различные конфигурации имплантов одной и той же кости является одним из ключевых преимуществ моделирования. В связи с акцентом современных исследований на компьютерном и вычислительном анализе биомеханических проблем травматологии и ортопедии метод конечно-элементного анализа был внедрен в нашу работу для большей объективизации полученных данных, а также выявления трудно определяемых особенностей накостного остеосинтеза разных видов фиксации импланта к кости. Взаимосвязь клинического и экспериментального анализов позволили широко и современно рассмотреть тему настоящего исследования.

В ходе проведенного диссертационного исследования было выделено несколько этапов анализа 153 пациентов, прооперированных с использованием метода накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости. На первом этапе было проанализировано 115 пациентов, оперированных в период 2015-2020 гг. 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 2 группы. В «основную группу 1» вошли 73 пациента, которым был выполнен минимально инвазивный способ накостного остеосинтеза при помощи антеролатерального доступа «МИНО». В «Группу сравнения 1» вошли 42 пациента, которым был выполнен накостный остеосинтез при помощи дельтопекторального доступа «ОРИФ». Пациенты в ретроспективном исследовании были оценены минимально через 12 месяцев с момента операции. Оценивая полученные данные при сравнении общего количества пациентов, а также распределения их по видам 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 травм проксимального отдела плечевой кости пациентов по фрагментарности, разделенной по классификации Neer;
3. Распределение по способу накостного остеосинтеза.

Был применен комплексный подход к обследованию пациентов, включающий в себя тщательный физикальный осмотр, лабораторные методы исследования, а также инструментальные методы исследования: рентгенография и компьютерная томография. Рентгенографию выполняли до операции, интраоперационно при помощи ЭОП и после операции. Рентгенологическое обследование проводили также через 1-3-6-12 месяцев после выполнения оперативного вмешательства. Контрольной точкой считали срок 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 DASH и CSS. Кроме того, оценивали хирургические рубцы на первом этапе исследования. Оценку проводили по VSS для обеих групп исследуемых и рассматривали параметры рубцов по критериям: общая длина и ширина. В ретроспективном разделе продемонстрированы два клинических примера применения обоих способов накостного остеосинтеза. В этих группах пациентов вели в послеоперационном периоде по результатам авторов систематического обзора протоколов реабилитации [39]: 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.

Ретроспективное исследование накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости способами ОРИФ и МИНО показало преимущества минимально инвазивного доступа. 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 шкал DASH, CSS:  $p>0.05$  во всех измерениях для МИНО и ОРИФ соответственно. При оценке результатов у двух возрастных групп были отмечены худшие результаты по DASH ( $p<0.05$ ), но сопоставимые по VSS и CSS. 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 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,  $p<0,05$ ). Также тенденция взаимосвязи возраста пациента и результатов исследования различных показателей демонстрирует матрица корреляций.

При оценке результатов по функции плеча было показано, что при четырехфрагментарных переломах способ ОРИФ имел более хорошие результаты, чем способ МИНО. При Neer II МИНО превосходил ОРИФ по CSS и рискам развития осложнений, а при Neer III ОРИФ превосходил МИНО по CSS и DASH ( $p<0,05$ ).

Всего было выявлено 34 осложнения – 29,6%. Наибольшее количество пациентов без осложнений отмечались в «Основной группе 1» (79,5%). При рассмотрении результатов было выявлено наименьшее количество осложнений в «Основной группе 1» 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 к применению, поскольку в исследовании были выявлены неудовлетворительные результаты. Чаще осложнения встречались у пациентов старше 60ти лет.

При исследовании анатомо-функциональных осложнений было отмечено превалирование их развития в послеоперационном периоде – до 3 месяцев. Это может указывать на проблемы, возникающие в период реабилитации. Были отмечены перфорация винта в полость сустава, варусное смещение головки плечевой кости, АВН, потеря репозиции и поломка пластины. Эти результаты побудили нас выполнить компьютерное моделирование и провести расчеты в экспериментальной модели.

Для этого был применен физико-математический метод, а также 3D-моделирование перелома проксимального отдела плечевой кости в условиях накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью. Вначале строили 3D-модель в программном комплексе Catia с последующим совершенствованием структуры в SolidWorks (используя пакет построения моделей), далее (в пакете статического анализа) производили необходимые расчёты. В исследовании рассматривали четыре вида клинической ситуации.

1. Ранний послеоперационный период (до формирования костной мозоли): плотная межфрагментарная компрессия при остеосинтезе, остеосинтез в условиях оскольчатой метафизарной зоны (формирование виртуальной остеотомии с дефектом костной ткани) перелома, остеосинтез в условиях оскольчатой метафизарной зоны с фиксацией дополнительными винтами к проксимальному фрагменту, моделирование пластины с монолитным центром – без отверстий под винты в центре пластины.

Геометрию переломов моделировали с помощью виртуальных остеотомий. Оскольчатые (сильно фрагментированные) переломы моделировали путем исключения оскольчатой зоны, с предположением того, что зона не сможет выдерживать нагрузку до консолидации.

2. Отдаленный послеоперационный период (сформированная костная мозоль).

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). 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 восстанавливалась 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 диагональных 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 в послеоперационном периоде на этапе реабилитации. Таким образом, повышенная нагрузка на медиальную колонну, тяга мышц на разрыв в области перелома проксимального отдела плечевой кости и вес верхней конечности приводят к повышенной нагрузке на зону перелома/центральную часть пластины. Это больше выражено при многофрагментарных переломах ввиду невозможности создания абсолютной стабильности, при оскольчатом характере метафизарной зоны, при которых необходимо выполнять мостовидный вид накостной фиксации перелома. Этот

факт препятствует формированию адекватных для консолидации условий, из-за чего появляются риски развития потери репозиции, варусного смещения проксимального фрагмента, засчет деформации и поломки пластины.

В дальнейшем полученные данные клинического и экспериментального разделов позволили выделить рисковые группы и создать алгоритм выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза:

- 1) Способ МИНО при любом возрасте пациента показан для накостного остеосинтеза двухфрагментарных переломов;
- 2) При трехфрагментарных переломах способ МИНО может применяться с лучшими функциональными результатами и меньшим количеством осложнений у пациентов младше 60ти лет.
- 3) 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. В алгоритме выбора способа МИНО, а также дифференциированном реабилитационном протоколе после операции, выражалось объединение результатов, полученных в ретроспективном клиническом и экспериментальном исследовании.

По результатам ретроспективного и экспериментального этапов работы была выделена группа ретроспективного алгоритма (Группа сравнения 2) при переломах типа Neer II, III и IV (N=73 пациента). С учетом созданного алгоритма (Основная группа 2), сформировали проспективную группу исследования в количестве 38 человек при Neer II и Neer III. Пациентов оценивали с акцентом на функцию плечевого сустава в отдаленном (CSS, DASH) послеоперационном

периоде. Алгоритм выбора МИНО с дифференцированным реабилитационным протоколом был демонстрирован на клиническом примере №3.

«Основная группа 2» показала сопоставимые результаты с «Группой сравнения 2» 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 «Основная группа 2» показала в отдаленном периоде лучше функциональные результаты у пациентов с переломами типа Neer II, III по шкалам опросников и меньшим количеством осложнений.

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. Результаты анализа эффективности алгоритма выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза и дифференцированного реабилитационного протокола показывают превосходство алгоритма «Основной группы 2» по функции оперированного плечевого сустава в отдаленном послеоперационном периоде, а также его клиническую безопасность применения с меньшими рисками развития осложнений. Исследование продемонстрировало клиническую и экспериментальную эффективность дифференцированного реабилитационного протокола и алгоритма выбора минимально инвазивного накостного остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости, которые отличаются выявлением узких показаний к применению способа, а также контролируемым и этапным введением в послеоперационную реабилитацию движений на отведение в плечевом суставе, которое позволяет снизить риски потери репозиции и поломки пластины.

## 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВН – Аваскулярный некроз;

КТ – Компьютерная томография;

ЛФК – Лечебная физическая культура;

МИНО – Минимально инвазивный накостный 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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко П.В. Хирургическое лечения переломов проксимального отдела плечевой кости коротким прямым интрамедуллярным гвоздем / П.В. Бондаренко, Н.В. Загородний, С.И. Гильфанов, А.Ю. Семенистый, А.А. Семенистый, А.Н. Логвинов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2015. – №4. – с. 17-20
2. Ваза А.Ю. Хирургическое лечение переломов проксимального отдела плечевой кости с использованием оригинального трансплантата из аллогенной малоберцовой кости: ретроспективное когортное исследование / А.Ю. Ваза, А.М. Файн, К.И. Скуратовская, Р.С. Титов, Н.В. Боровкова, С.Ф. Гнетецкий, Ф.А.К. Шарифуллин, А.А. Файн // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2022. – №29(4). – с. 367-378
3. Васюк В.Л. Накостный остеосинтез переломов плечевой кости / В.Л. Васюк, А.А. Брагарь // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2011. – №4(80). – с. 344-347
4. Григорьев А.В. Хирургическое лечение переломов проксимального отдела плечевой кости. / Г.Д. Лазишивили, В.В. Кузин, Д.И. Гордиенко и др. // Московский Хирургический Журнал. – 2016. – № 1. – с. 22-25
5. Дубров В.Э. Оперативное лечение переломов проксимального отдела плечевой кости методом многоплоскостного блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза / В.Э. Дубров, В.С. Сидоров, А.О. Рагозин, С.Э. Мустаева, М.Ю. Ханин, А.М. Гайфуллина // Московский хирургический журнал. – 2013. – №4. – с. 32-38
6. Егиазарян К.А. Основные принципы достижения стабильности штифта при остеосинтезе переломов проксимального отдела плечевой кости / К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, В.О. Тамазян, К.И. Глазков, Д.С. Ершов // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2019. - №1(35). - с. 34-40

7. Егиазарян К.А. Среднесрочные результаты лечения переломов проксимального отдела плечевой кости методом внутрикостного остеосинтеза / К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, Д.И. Гордиенко, А.В. Григорьев, Н.В. Овчаренко // Травматология и ортопедия России. – 2018. – №24(4). – с. 81-88
8. Егиазарян К.А. Результаты остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости интрамедуллярным штифтом с дополнительной мягкотканой стабилизацией бугорков / К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, В.О. Тамазян, К.И. Глазков, Д.С. Ершов // ПОЛИТРАВМА. – 2019. – №2(1). – с. 32-39
9. Егиазарян К.А. Застарелый задний переломовывих плеча / К.А. Егиазарян, Д.С. Ершов, Д.А. Бадриев, Д.Ю. Сошников // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2022. – №2. – с. 88-92
10. Егиазарян К.А. Среднесрочные результаты хирургического лечения пациентов с переломовывихами плечевой кости / К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, Д.С. Ершов, Е.А. Куруч, В.Н. Кузнецов, Н.В. Овчаренко // Травматология и ортопедия России. – 2020. – №26(4). – с. 68-79
11. Егиазарян К. А. Среднесрочные результаты лечения переломов проксимального отдела плечевой кости методом внутрикостного остеосинтеза / К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, Д.И. Гордиенко, А.В. Григорьев, Н.В. Овчаренко // Травматология и ортопедия России. – 2018. – №24 (4). – с. 81-88
12. Кавалерский Г.М. Тактика хирургического лечения внесуставных переломов проксимального отдела плечевой кости / Г.М. Кавалерский, В.Ю. Мурылев, А.Ч. Имамкулиев, Я.А. Рукин // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2016. – №3(19). – с. 5-12
13. Калинский Е.Б. Применение аддитивных технологий при эндопротезировании плечевого сустава / Е.Б. Калинский, А.М. Байрамкулов, Е.П. Тычина, А.В. Лычагин, П.И. Петров, М.М. Липина, Г.М. Кавалерский, В.И. Тельпухов, Е.Ю. Целищева, Я.А. Рукин // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2023. – № 3(53). – с. 38-45
14. Каллаев Н.О. Применение аппаратов внешней фиксации при околосуставных переломах проксимального отдела плечевой кости на основе

биомеханической концепции фиксации отломков / Н.О. Каллаев, А.Р. Атаев // Практическая медицина. – 2022. – №20(4). – с. 140-143

15. Кесян Г.А. Оценка эффективности применения малотравматичного оперативного эндопротезирования плечевого сустава / Г.А. Кесян, Г.С. Карапетян, А.А. Шуйский, Р.З. Уразгильдеев, И.Г. Арсеньев, О.Г. Кесян, М.М. Шевнина // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2021. – №28(2). – с. 21-28

16. Кесян Г.А. Диагностика и методы решения снижения минеральной плотности костной ткани и деформаций суставной впадины плечевого сустава / Г.А. Кесян, Г.С. Карапетян, А.А. Шуйский, Р.З. Уразгильдеев, И.Г. Арсеньев, О.Г. Кесян // Acta Biomedica Scientifica. – 2022. – №7(1). – с. 154-160

17. Коган П.Г. Эволюция лечения переломов проксимального отдела плечевой кости (обзор литературы) / П.Г. Коган, Т.Н. Воронцова, И.И. Шубняков, И.А. Воронкович, С.А. Ласунский // Травматология и ортопедия России. – 2013. – №3(69). – с. 154-161

18. Костив Е.П. Новые возможности накостного остеосинтеза при оскольчатых переломах проксимального отдела плечевой кости у пациентов с остеопорозом / Е.П. Костив, Д.А. Невежкин, Е.Е. Костива, Р.Е. Костив, Е.С. Кондратьева // ПМ. – 2022. – №20(4). – с. 43-50

19. Костив Р.Е. Хирургическое лечение пациентов с полифокальными переломами проксимального отдела плечевой кости на фоне остеопороза / Р.Е. Костив, Е.П. Костив, И.В. Шулепин, Е.Е. Костива // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2022. – №2. – с. 82-85

20. Лазишивили Г.Д. Оперативное лечение переломов хирургической шейки плечевой кости с использованием дополнительной трансакромиальной фиксации головки плеча спицами во время интрамедуллярного остеосинтеза / Г.Д. Лазишивили, Д.С. Ершов, М.А. Данилов, А.В. Григорьев, Е.А. Жаворонков, Н.С. Ершов // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2020. – №2. – с. 5-11

21. Лазко М.Ф. Лечение больших, массивных невосстанавливаемых повреждений вращательной манжеты плечевого сустава / М.Ф. Лазко, А.П.

Призов, Ф.Л. Лазко, Е.А. Беляк, И.Г. Маглаперидзе, А.В. Кузнецов, А.А. Ахпашев, Т.О. Скипенко // Клиническая практика. – 2019. – №10(4). – с. 74-80

22. Липина М.М. Адаптация основных опросников, применяемых для оценки состояния и функции плечевого сустава при боли в суставе различной этиологии / М.М. Липина, А.В. Лычагин, С.В. Архипов, Е.Б. Калинский, Р.И. Алиев, Р.Х. Явлиева, Е.Ю. Целищева, П. Любятовски // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2018. – №4(34). – с. 44-50

23. Набиев Е.Н. Биомеханика остеосинтеза переломов проксимального отдела плечевой кости / Е.Н. Набиев, С.С. Альходжаев, К.М. Тезекбаев, Б. Ермекулы, Е.Д. Дуйсекеев, Р.Ф. Максутов, А.К. Човдырбаев, Д.К. Кемелов, Н.Д. Халмуминов, М.Е. Шораев // Вестник Казахского Национального медицинского университета. – 2020. – №1. – с. 273-279

24. Петросян А.С. Эволюция эндопротезирования плечевого сустава / А.С. Петросян, К.А. Егиазарян, М.А. Панин, А.П. Ратьев, О.А. Аль Баварид // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. – 2022. – №26(2). – с. 117—128

25. Рожков К.А. Сравнительный анализ результатов лечения тяжелых переломов проксимального отдела плечевой кости консервативным и оперативным методами / К.А. Рожков, К.И. Скуратовская // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2022. – №2. – с. 45-46

26. Файн А.М. Диагностика и лечение переломов проксимального отдела плечевой кости / А.М. Файн, А.Ю. Ваза, В.В. Сластибин, Р.С. Титов // Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь. – 2018. - №7(2). – с. 144-151

27. Чирков Н.Н. Хирургическое лечение невосстановимых массивных повреждений вращательной манжеты плечевого сустава / Н.Н. Чирков, В.Н. Яковлев, А.В. Алексеева, Е.А. Андронников, В.Ю. Емельянов // Гений ортопедии. – 2022. – №28(1). – с. 12-17

28. Чирков Н.Н. Новая методика эндопротезирования плечевого сустава у пациентов с дефектом проксимального отдела плеча / Н.Н. Чирков, В.Н. Яковлев, А.В. Алексеева, Е.А. Андронников, В.Ю. Емельянов // Современные проблемы науки и образования. – 2022. – №1. – с. 68
29. Яшина И.Н. К вопросу о строении плечевой кости современного человека / И.Н. Яшина, М.С. Гомон // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 1. – с. 60
30. Aguado H.J. Minimally invasive polyaxial locking plate osteosynthesis for 3–4 part proximal humeral fractures: our institutional experience / H.J. Aguado, J. Mingo, M. Torres, A. Alvarez-Ramos, M.A. Martín-Ferrero // Injury. – 2016. – №47. – p. S22-S28
31. Alberio R.L. Minimally invasive plate osteosynthesis for proximal humerus fractures: a retrospective study describing principles and advantages of the technique / R.L. Alberio, M. Del Re, F.A. Grassi // Advances in Orthopedics. – 2018. – №2018. – p. 1-10
32. Attala B. The role of minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) technique for treating 3- and 4-part proximal humerus fractures in the elderly. A case study / B. Attala, M. Primavera, A. Di Marcantonio, L. Broccolo, F.P. Oliverio, C. Zoccali, J. Baldi, R. Biagini // Acta Biomed. – 2021. – №92(4). – p. e2021251
33. Bakhsh W. Anatomy and physical examination of the shoulder / W. Bakhsh, G. Nicandri // Sports Medicine and Arthroscopy Review. – 2018. – 26(3). – p. e10–e22
34. Barlow J.D. Complications after ORIF of proximal humerus fractures—how to deal with them / J.D. Barlow // Annals of Joint. – 2021. – №6. – p.6-16
35. Barlow J.D. Locking plate fixation of proximal humerus fractures in patients older than 60 years continues to be associated with a high complication rate / J.D. Barlow, A.L. Logli, S.P. Steinmann, S.A. Sems, W.W. Cross, B.J. Yuan, M.E. Torchia, J. Sanchez-Sotelo // Journal of Shoulder and Elbow Surgery. – 2020. – №29(8). – p. 1689-1694

36. Berk T. Does the magnitude of injuries affect the outcome of proximal humerus fractures treated by locked plating (PHILOS)? / T. Berk, S. Halvachizadeh, F. Bellmann, L. Büscher, H.C. Pape, F. Allemann // Eur J Trauma Emerg Surg. – 2022. – №48(6). – p. 4515-4522
37. Borer J. Mid-term results of minimally invasive deltoid-split versus standard open deltopectoral approach for PHILOS™ (proximal humeral internal locking system) osteosynthesis in proximal humeral fractures / J. Borer, J. Schwarz, S. Potthast, M. Jakob, P. Lenzlinger, U. Zingg, A. Babians // European Journal of Trauma and Emergency Surgery. – 2020. – №46(4). – p. 825-834
38. Buchmann L. Proximal humerus fractures (PHFs): comparison of functional outcome 1 year after minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) versus open reduction internal fixation (ORIF) / L. Buchmann, E.M.M. van Lieshout, M. Zeelenberg, D. den Hartog, R. Pfeifer, F. Allemann, H.-C. Pape, S. Halvachizadeh // European Journal of Trauma and Emergency Surgery. – 2022. – №48(6). – p. 4553-4558
39. Budharaju A. Rehabilitation protocols in proximal humerus fracture management: A systematic review / A. Budharaju, K.M. Hones, K.A. Hao, J.O. Wright, C.J. Fedorka, S.G. Kaar, K.I. Bohsali, T.W. Wright, M.R. Patrick, J.J. King // Shoulder Elbow. – 2024. – №16(4). – p. 449-458
40. Boesmueller S. Risk factors for humeral head necrosis and non-union after plating in proximal humeral fractures / S. Boesmueller, M. Wech, M. Gregori, F. Domaszewski, A. Bukaty, C. Fialka, C. Albrecht // Injury. – 2016. – №47(2). – p. 350–355
41. Boileau P. Displaced humeral surgical neck fractures: classification and results of third-generation percutaneous intramedullary nailing / P. Boileau, T. d’Ollonne, C. Bessière, A. Wilson, P. Clavert, A.M. Hatzidakis, M. Chelli // J shoulder Elb Surg. – 2019. – №28(2). – p. 276–287
42. Boileau P. Displaced humeral surgical neck fractures: classification and results of third-generation percutaneous intramedullary nailing / P. Boileau, T.

d'Ollonne, C. Bessière, A. Wilson, P. Clavert, A.M. Hatzidakis, M. Chelli // J shoulder Elb Surg. – 2019. – №28(2). – p. 276–287

43. Brunner A. The Humerusblock NG: a new concept for stabilization of proximal humeral fractures and its biomechanical evaluation / A. Brunner, H. Resch, R. Babst, S. Kathrein, J. Fierlbeck, A. Niederberger, W. Schmölz // Arch Orthop Trauma Surg. – 2012. – №132. – p. 985–992

44. Carofino B.C. Classifications in brief: the Neer classification for proximal humerus fractures / B.C. Carofino, S.S. Leopold // Clin Orthop Relat Res. – 2013. – №471(1). – p. 39-43

45. Castro-Franco A.D. Trends in the characterization of the proximal humerus in biomechanical studies: a review / A.D. Castro-Franco, I. Mendoza-Muñoz, Á. González-Ángeles, S.E. Cruz-Sotelo, A.M. Castañeda, M. Siqueiros-Hernández // Applied Sciences. – 2020. – №10. – p. 6514.

46. Chen H. Finite element analysis of an intramedullary anatomical strut for proximal humeral fractures with disrupted medial column instability: A cohort study / H. Chen, Z. Zhu, J. Li, Z. Chang, P. Tang // International Journal of Surgery. – 2020. – №73. – p. 50–56

47. Cheng C. Mechanisms underlying normal fracture healing and risk factors for delayed healing / C. Cheng, D. Shoback // Curr Osteoporos Rep. – 2019. – №17. – p. 36–47

48. Claes L. The fracture gap size influences the local vascularization and tissue differentiation in callus healing / L. Claes, K. Eckert-Hubner, P. Augat // Langenbecks Arch Surg. – 2003. – №388(5). – p. 316–322

49. Couch B.K. Increased medial displacement of the humeral shaft of at least 40% correlates with an increased incidence of nerve injury in proximal humerus fractures / B.K. Couch, P.L. Maher, M.S. Fourman, G.B. Moloney, P.A. Siska, I.S. Tarkin // Iowa Orthop J. – 2021. – №41(1). – p. 163-166

50. Court-Brown C.M. Epidemiology of adult fractures: a review / C.M. Court-Brown, B. Caesar // Injury. – 2006. - №37(8). – p. 691–697

51. Da Silva T. Protective and risk factors for humerus head necrosis after proximal humerus fracture treated with internal locking plate / T. Da Silva, D.B. Ehrhard, T.M. Chuchuy, C. Knop, T. Merkle // Indian Journal of Orthopaedics. – 2022. – №56(3). – p. 429-436
52. Edwards S.L. Two-part surgical neck fractures of the proximal part of the humerus. A biomechanical evaluation of two fixation techniques / S.L. Edwards, N.A. Wilson, L.Q. Zhang, S. Flores, B.R. Merk // J Bone Joint Surg Am. – 2006. – №88. – p. 2258 –2264
53. Einhorn T.A. Fracture healing: mechanisms and interventions / T.A. Einhorn, L.C. Gerstenfeld // Nat Rev Rheumatol. – 2015. - №11. – p. 45–54
54. Elliott D.S. A unified theory of bone healing and nonunion: BHN theory / D.S. Elliott, K.J.H. Newman, D.P. Forward, D.M. Hahn, B. Ollivere, K. Kojima // Bone Joint J. – 2016. - №98-B. – p. 884–891
55. Elkins J. Motion predicts clinical callus formation / J. Elkins, J.L. Marsh, T. Lujan, R. Peindl, J. Kellam, D.D. Anderson // J Bone Joint Surg Am. – 2016. – №98. – p. 276–84
56. Epari D.R. Timely fracture-healing requires optimization of axial fixation stability / D.R. Epari, J.-P. Kassi, H. Schell, G.N. Duda // J Bone Joint Surg Am. – 2007. – №89. – p. 1575–1585
57. Falez F. Minimally invasive plate osteosynthesis in proximal humeral fractures: one-year results of a prospective multicentre study / F. Falez, M. Papalia, A. Greco, A. Teti, F. Favetti, G. Panegrossi, F. Casella, S. Necozione // Int Orthop. – 2016. – №40(3). – p. 579–85
58. Fazzari F. Avascular necrosis of humeral head after proximal humerus fracture: comparison between classification systems in predicting necrosis risk / F. Fazzari, G. Canton, G. Giraldi, N. Falcioni, S. Clocchiatti, N. Rasio, L. Murena // Acta Biomed. – 2023. – №94(S2). – p. e2023089
59. Fischer C. Dynamic contrast-enhanced ultrasound (CEUS) after open and minimally invasive locked plating of proximal humerus fractures / C. Fischer, M.

Frank, P. Kunz, M. Tanner, M.A. Weber, A. Moghaddam, G. Schmidmaier, A. Hug // Injury. – 2016. – №47(8). – p. 1725-1731

60. Gardner M.J. The importance of medial support in locked plating of proximal humerus fractures / M.J. Gardner, Y. Weil, J.U. Barker, B.T. Kelly, D.L. Helfet, D.G. Lorich // Journal of Orthopaedic Trauma. – 2007. – №21(3). – p. 185-191

61. Gupta A.K. Surgical management of complex proximal humerus fractures-a systematic review of 92 studies including 4500 patients / A.K. Gupta, J.D. Harris, B.J. Erickson, G.D. Abrams, B. Bruce, F. McCormick, G.P. Nicholson, A.A. Romeo // J Orthop Trauma. – 2015. – №29(1). – p. 54–59

62. Gönç U. Minimally invasive plate osteosynthesis with PHILOS plate for proximal humerus fractures / U. Gönç, M. Atabek, K. Teker, A. Tanrıöver // Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica. – 2017. – №51(1). – p. 17-22

63. Haasters F. Complications of locked plating for proximal humeral fractures — are we getting any better? / F. Haasters, G. Siebenbürger, T. Helfen, M. Daferner, W. Böcker, B. Ockert // J Shoulder Elb Surg. – 2016. – №25(10). – p. e295–303

64. Halvachizadeh S. Treatment of proximal humerus fractures in geriatric patients-can pathological DEXA results help to guide the indication for allograft augmentation? / S. Halvachizadeh, T. Berk, T. Rauer, C. Hierholzer, R. Pfeifer, H.C. Pape, F. Allemann // PLoS One. – 2020. – №15(4). – p. e0230789.

65. He Y. Biomechanical evaluation of a novel dualplate fixation method for proximal humeral fractures without medial support / Y. He, Y. Zhang, Y. Wang, D. Zhou, F. Wang // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2017. – №12. – p. 72

66. Helmy N. New trends in the treatment of proximal humerus fractures / N. Helmy, B. Hintermann // Clin Orthop Relat Res. – 2006. – №442. – p. 100–108

67. Hepp P. Where should implants be anchored in the humeral head? / P. Hepp, H. Lill, H. Bail, J. Korner, M. Niederhagen, N.P. Haas, C. Josten, G.N. Duda // Clin Orthop Relat Res. – 2003. – №415. – p. 139-147

68. Hepp P. The surgical approach for locking plate osteosynthesis of displaced proximal humeral fractures influences the functional outcome / P. Hepp, J. Theopold, C. Voigt, T. Engel, C. Josten, H. Lill // J Shoulder Elbow Surg. – 2008. – №17(1). – p. 21–28
69. Hertel R. Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus / R. Hertel, A. Hempfing, M. Stiehler, M. Leunig // J. Shoulder Elbow Surg. – 2004. – №13(4). – p. 427-433
70. Hettrich C.M. Quantitative assessment of the vascularity of the proximal part of the humerus / C.M. Hettrich, S. Boraiah, J.P. Dyke, A. Neviaser, D.L. Helfet, D.G. Lorich // J Bone Joint Surg Am. – 2010. – №92(4). – p. 943–948
71. Hirzinger C. Proximal humerus fracture: new aspects in epidemiology, fracture morphology, and diagnostics / C. Hirzinger, M. Tauber, H. Resch // Unfallchirurg. – 2011. – №114(12). – p. 1051–58 [in German]
72. Jabran A. Biomechanical analysis of plate systems for proximal humerus fractures: a systematic literature review / A. Jabran, C. Peach, L. Ren // Biomed Eng Online. – 2018. – 17(1). – p. 47
73. Jung S.-W. Factors that influence reduction loss in proximal humerus fracture surgery / S.-W. Jung, S.-B. Shim, H.-M. Kim, J.-H. Lee, H.-S. Lim // Journal of Orthopaedic Trauma. – 2015. – №29(6). – p. 276-282
74. Keough N. An anatomical investigation into the blood supply of the proximal humerus: surgical considerations for rotator cuff repair / N. Keough, T. de Beer, A. Uys, E. Hohmann // JSES Open Access. – 2019. – №3(4). – p. 320–327
75. Kim Y.-G. Is minimally invasive plate osteosynthesis superior to open plating for fixation of two-part fracture of the proximal humerus? / Y.-G. Kim, K.-H. Park, J.-W. Kim, J.-K. Oh, J.-P. Yoon, H.-J. Kim, C.-W. Oh // Journal of Orthopaedic Surgery. – 2019. – №27(2). – p. 230949901983615
76. Kishore J.V. Intraoperative parameters of comminuted proximal humerus fractures: a comparison between deltoid-split and deltopectoral approaches / J.V. Kishore, A.R. Kale, V. Patil, S. Sonawane, R.M. Kopparthi, C. Jani, A. Vadlamudi // Cureus. – 2022. – №14(6). – p. e26443

77. Kolar P. Human early fracture hematoma is characterized by inflammation and hypoxia / P. Kolar, T. Gaber, C. Perka, G.N. Duda, F. Buttgereit // Clinical Orthopaedics and Related Research. – 2011. – №469(11). – p. 3118–3126
78. Kolar P. The early fracture hematoma and its potential role in fracture healing / P. Kolar, K. Schmidt-Bleek, H. Schell, T. Gaber, D. Toben, G. Schmidmaier, C. Perka, F. Buttgereit, G.N. Duda // *Tissue Eng - Part B Rev.* – 2010. – №16(4). – p. 427–434
79. Koljonen P.A. Minimally invasive plate osteosynthesis for proximal humeral fractures / P.A. Koljonen, C. Fang, T.W. Lau, F. Leung, N.W.K. Cheung // *Journal of Orthopaedic Surgery*. – 2015. – №23(2). – p. 160-163
80. Krappinger D. Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures / D. Krappinger, N. Bizzotto, S. Riedmann, C. Kammerlander, C. Hengg, F.S. Kralinger // *Injury*. – 2011. – №42. – p. 1283–1288
81. Lewis G.S. Finite element analysis of fracture fixation / G.S. Lewis, D. Mischler, H. Wee, J.S. Reid, P. Varga // *Curr Osteoporos Rep.* – 2021. – №19(4). – p. 403-416
82. Mischler D. Computational optimisation of screw orientations for improved locking plate fixation of proximal humerus fractures / D. Mischler, M. Windolf, B. Gueorguiev, S. Nijs, P. Varga // *Journal of Orthopaedic Translation*. – 2020. – №25. – p. 96–104
83. Owsley K.C. Displacement/screw cutout after open reduction and locked plate fixation of humeral fractures / K.C. Owsley, J.T. Gorczyca // *J Bone Jt Surg.* – 2008. – №90A(2). – p. 233–40.
84. Pankaj P. Patient-specific modelling of bone and bone-implant systems: the challenges / P. Pankaj // *Int J Numer Method Biomed Eng.* – 2013. – №29. – p. 233–49.
85. Parr W.C.H. Fatigue implications for bending orthopaedic plates / W.C.H. Parr, T. Wang, C. Tan, M.J. Dan, W.R. Walsh, P. Morberg // *Injury*. – 2021. – №52(10). – p. 2896-2902

86. Passaretti D. Epidemiology of proximal humeral fractures: a detailed survey of 711 patients in a metropolitan area / D. Passaretti, V. Candela, P. Sessa, S. Gumina // J Shoulder Elb Surg. – 2017. – №26(12). – p. 2117–2124
87. Peker B. Functional Outcomes and Complication Analysis of Plate Osteosynthesis versus Hemiarthroplasty in Three-part and Four-part Proximal Humerus Fractures / B. Peker, A.E. Polat, E. Carkci, A. Senel, C. Soydan, T. Tuzuner // J Pak Med Assoc. – 2022. – №72(1). – p. 57-61
88. Perren S.M. Physical and biological aspects of fracture healing with special reference to internal fixation / S.M. Perren // Clin Orthop Relat Res. – 1979. – p. 175–196
89. Rocourt M.H.H. Evaluation of Intratester and Intertester Reliability of the Constant-Murley Shoulder Assessment / M.H.H. Rocourt, L. Radlinger, F. Kalberer, S. Sanavi, N.S. Schmid, M. Leunig, R. Hertel // Journal of Shoulder and Elbow Surgery. – 2008. – №17(2). – p. 364–69
90. Roche C.P. Comparison of Survivorship and Failure Modes Between Anatomic and Reverse Total Shoulder Arthroplasty Across Multiple Government Joint Registries for a Single Platform Shoulder System / C.P. Roche, P.H. Flurin, T.W. Wright, J.D. Zuckerman // Bull Hosp Jt Dis. – 2023. – №81(2). – p. 141-150.
91. Rockwood C.A. Jr. Shoulder arthroplasty without a rotator cuff / C.A. Rockwood Jr. // Orthopedics. – 2003. – №26(9). – p. 893-894
92. Roddy E. High rate of avn but excellent patient reported outcomes after orif of proximal humerus fracture dislocations: should orif be considered as primary treatment? / E. Roddy, U. Kandemir // J Shoulder Elbow Surg. – 2023. – p. S1058-2746(23)00379-8
93. Rouleau D.M. Deltopectoral vs. deltoid split approach for proximal Humerus fracture fixation with locking plate: a prospective Randomized study (HURA) / D.M. Rouleau, F. Balg, B. Benoit, S. Leduc, M. Malo, F. Vézina, G.Y Laflamme // Journal of Shoulder and Elbow Surgery. – 2020. – №29(11). – p. 2190-2199

94. Roux A. Epidemiology of proximal humerus fractures managed in a trauma center / A. Roux, L. Decroocq, S. El Batti, N. Bonnevialle, G. Moineau, C. Trojani, P. Boileau, F. de Peretti // Orthop Traumatol Surg Res. – 2012. – №98(6). – p. 715–719
95. Sanders B.S. Biomechanical evaluation of locked plating in proximal humeral fractures / B.S. Sanders, A.B. Bullington, G.R. McGillivary, W.C. Hutton // J Shoulder Elbow Surg. – 2007. – №16. – p. 229 –234
96. Schiuma D. Development of a novel method for surgical implant design optimization through noninvasive assessment of local bone properties / D. Schiuma, S. Brianza, A.E. Tami // Medical Engineering & Physics. – 2011. – №33. – p. 256–262
97. Schorler H. Bone plate-screw constructs for osteosynthesis - recommendations for standardized mechanical torsion and bending tests / H. Schorler, R. Wendlandt, C. Jürgens, A.P. Schulz, C. Kaddick, F. Capanni // Biomed Tech (Berl). – 2018. – №63(6). – p. 719-727
98. Schuetze K. Feasibility and radiological outcome of minimally invasive locked plating of proximal humeral fractures in geriatric patients / K. Schuetze, A. Boehringer, R. Cintean, F. Gebhard, C. Pankratz, P.H. Richter, M. Schneider, A.M. Eickhoff // Journal of Clinical Medicine. – 2022. –№11(22). – p. 6751
99. Seide K. Locked vs. unlocked plate osteosynthesis of the proximal humerus - a biomechanical study / K. Seide, J. Triebel, M. Faschingbauer, A.P. Schulz, K. Püschel, G. Mehrtens, Ch. Jürgens // Clin Biomech (Bristol). – 2007. – №22(2). – p. 176-82
100. Sergent A. Quantitative localization of the entry point of the lateral ascending branch of the anterior circumflex humeral artery: a high-definition CT-scan radiological study / A. Sergent, D.M. Rouleau, É. Beauvais, J. Ménard, Y. Petit, S. Leduc, G.Y. Laflamme // Surgical and Radiologic Anatomy. – 2019. – №42(3). – p. 233–237
101. Shen P. Effects of medial support screws on locking plating of proximal humerus fractures in elderly patients: a retrospective study / P. Shen, Y. Zhu, L. Zhu, X. Li, Y. Xu // Ann Transl Med. – 2019. – №7(20). – p. 560

102. Smith A.M. Early complications of operatively treated proximal humeral fractures / A.M. Smith, R.M. Mardones, J.W. Sperling, R.H. Cofield // J Shoulder Elbow Surg. – 2007. – №16. – p. 14–24
103. Siffri P.C. Biomechanical analysis of blade plate versus locking plate fixation for a proximal humerus fracture: comparison using cadaveric and synthetic humeri / P.C. Siffri, R.D. Peindl, E.R. Coley, J. Norton, P.M. Connor, J.F. Kellam // J Orthop Trauma. – 2006. – №20. – p. 547–554
104. Silver D. Measurement of the range of motion in joints / D. Silver // J. bone joint surg. – 1923. – №21. – p. 569-578
105. Sohn H.S. Clinical comparison between open plating and minimally invasive plate osteosynthesis for displaced proximal humeral fractures: A prospective randomized controlled trial / H.S. Sohn, Y.S. Jeon, J. Lee, S.J. Shin // Injury. – 2017. – №48(6). – p. 1175-1182
106. Spek R.W.A. Management of displaced humeral surgical neck fractures in daily clinical practice: hanging does not re-align the fracture / R.W.A. Spek, L.A. Hoogervorst, M.E.C. Elias, R.L. Jaarsma, D.H.E.J. Veeger, J.N. Doornberg, P.C. Jutte, M.P.J. van den Bekerom // Arch Orthop Trauma Surg. – 2023. – №143(6). – p. 3119-3128
107. Spross C. Evidence-based algorithm to treat patients with proximal humerus fractures—a prospective study with early clinical and overall performance results / C. Spross, J. Meester, R.A. Mazzucchelli, G.J. Puskás, V. Zdravkovic, B. Jost // J Shoulder Elbow Surg. – 2019. – №28(6). – p. 1022–1032
108. Tingart MJ. The cortical thickness of the proximal humeral diaphysis predicts bone mineral density of the proximal humerus / M.J. Tingart, M. Apreleva, D. von Stechow, D. Zurakowski, J.J. Warner // J Bone Joint Surg Br. – 2003. – №85. – p. 611–617
109. Tuturov A.O. The role of peripheral nerve surgery in a tissue reinnervation / A.O. Tuturov // Chin Neurosurg Jl. – 2019. – №5(5)
110. Varga P. Validated computational framework for efficient systematic evaluation of osteoporotic fracture fixation in the proximal humerus / P. Varga, J.A.

Inzana, B. Gueorguiev, N.P. Südkamp, M. Windolf // Med Eng Phys. – 2018. – №57. – p. 29-39

111. Veehof M.M. Psychometric qualities of the Dutch language version of the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand questionnaire (DASH-DLV) / M.M. Veehof, E.J. Sleegers, N.H. van Veldhoven, A.H. Schuurman, N.L. van Meeteren // Journal of Hand Ther. – 2002. – №15. –p. 347-354

112. Visser C.P.J. Nerve lesions in proximal humeral fractures / C.P.J. Visser, L.N.J.E.M. Coene, R. Brand, D.L.J. Tavy // J Shoulder Elb Surg. – 2001. – №10(5). – p. 421-427

113. Walsh S. Biomechanical comparison of a unique locking plate versus a standard plate for internal fixation of proximal humerus fractures in a cadaveric model / S. Walsh, R. Reindl, E. Harvey, G. Berry, L. Beckman, T. Steffen // Clin Biomech (Bristol, Avon). – 2006. – №21. –p. 1027–1031

114. Wang Y. Intrinsic Cortical Property Analysis of the Medial Column of Proximal Humerus / Y. Wang, J. Li, Y. Men, W. Wei // Orthopaedic Surgery. – 2023. – №15(3). – p. 793-800

115. Wooten C. Anatomic shoulder arthroplasty as treatment for locked posterior dislocation of the shoulder / C. Wooten, B. Klika, C.D. Schleck, W.S. Harmsen, J.W. Sperling, R.H. Cofield // J. Bone Jt. Surg. Am. – 2014. – №96(3). – p. e19

116. Yang P. Biomechanical effect of medial cortical support and medial screw support on locking plate fixation in proximal humeral fractures with a medial gap: a finite element analysis / P. Yang, Y. Zhang, J. Liu, J. Xiao, L.M. Ma, C.R. Zhu // Acta Orthop Traumatol Turc. – 2015. – №49(2). – p. 203-209

117. Zhang J.Y. Locking hole inserts: effect of insertion torque on fatigue performance and insert loosening in locking plates / J.Y. Zhang, P. Tornetta, B. Jones, Y. Zheng, A. Whitten, J. Cartner // J Orthop Trauma. – 2019. - №33. – p. 120–124

118. Zeng L.Q. Influence of medial support screws on the maintenance of fracture reduction after locked plating of proximal humerus fractures / L.Q. Zeng, L.L.

Zeng, Y.W. Jiang, H.F. Wei, W. Zhang, Y.F. Chen // Chin Med J (Engl). – 2018. – №131(15). – p. 1827-1833