

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**На правах рукописи**

**Якупов Шамиль Фавизович**

**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНЫХ ПЕРЕЛОМОВ  
КЛЮЧИЦЫ В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ**

**14.01.15 – травматология и ортопедия**

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук**

**Научный руководитель:  
доктор медицинских наук  
Р.Р. Якупов**

**Уфа 2019**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ДАННЫМ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Статистические данные. Эпидемиология .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Классификация переломов ключицы.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Обзор технологий лечения при переломах ключицы в средней трети .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. Функциональная реабилитация пациентов с переломами ключицы.....</b>	<b>23</b>
<b>ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Характеристика клинического материала и методов исследования.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Характеристика экспериментальных исследований и стендовых испытаний.....</b>	<b>29</b>
<b>ГЛАВА 3. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ПЕРЕЛОМАМИ КЛЮЧИЦЫ В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПО МАТЕРИАЛАМ КЛИНИК ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ .....</b>	<b>33</b>

<b>ГЛАВА 4. МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ПЕРЕЛОМАМИ СРЕДНЕЙ ТРЕТИ КЛЮЧИЦЫ</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1 Разработка универсального фиксатора с осевым типом силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2 Результаты стендовых испытаний различных технологий остеосинтеза ключицы</b> .....	<b>46</b>
<b>4.3 Лечение пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети по технологии осевого шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента и ранней функциональной реабилитации</b> .....	<b>64</b>
<b>ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ КЛЮЧИЦЫ В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ...</b>	<b>73</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>83</b>
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	<b>94</b>
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ</b> .....	<b>96</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	<b>97</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>98</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Лечение изолированных, не угрожающих жизни повреждений скелета обрело особую остроту и значимость в силу повышенной эффективности технологии стабильно-функционального остеосинтеза и роста притязаний пациентов в рамках бытовой, социальной и профессиональной реинтеграции. Клиническая практика и научные исследования строго ранжируют весь спектр повреждений опорно-двигательной системы, большинство из которых обрели статус протокольных (Минасов Б.Ш., 2016). В настоящее время проводится научное осмысление и разработка клинических рекомендаций по диагностике и лечению менее значимых звеньев скелета (ключица, изолированные повреждения ребер, кисти и стопы). Проводится разработка доктрины лечения этих, казалось бы не угрожающих жизни повреждений, но имеющих высокую значимость в связи с длительной нетрудоспособностью пострадавших, требующих не только социальной и бытовой, но и профессиональной реинтеграции пациентов (Загородний Н.В., 2014; Котельников Г.П., 2017; Очкуренко А.А., 2018; Баиндурашвили А.Г., 2018).

Переломы ключицы относятся к одному из наиболее часто встречающихся видов такого рода травм и составляют до 4% среди всех повреждений скелета. Популяционные исследования и системный анализ характера и структуры повреждений ключицы раскрывает преимущественную локализацию переломов в средней трети этого сложного сегмента – до 82%. Актуальность такого рода повреждений определяется тем, что они, как правило, становятся уделом лиц молодого и среднего возраста, ведущих активный и социально полезный образ жизни [1, 2, 5, 7, 13, 30, 36, 44, 62, 67, 68, 69, 73, 78 79, 81].

Клиническая практика склоняется к тем технологиям хирургического лечения, которые обеспечивают стабильную фиксацию отломков и немедленную функциональную реабилитацию. Клинические протоколы обрели статус высокотехнологичных вмешательств, обеспечивающих

функциональную свободу индивида и что наиболее важно, минимизирующих ятрогению.

Однако неуклонный рост притязаний к медицинским услугам не удовлетворяет в силу определенной доли осложнений и неблагоприятных исходов, обусловленных объективными причинами: характер перелома, ограниченный диапазон полезных свойств имплантата, отсутствие доктрины реабилитации. В связи с этим требуется проведение сравнительного анализа эффективности различных методик лечения нестабильных переломов средней трети ключицы и разработка унифицированных технологий, обеспечивающих высокое качество стабильно-функционального остеосинтеза [2, 5, 15, 61, 64, 71, 76, 91, 95, 99, 103, 131, 135, 144, 150, 155, 156, 159, 165, 166, 174, 183, 188, 189].

### **Цель исследования**

Улучшение результатов хирургического лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети на основе внутрикостного стабильно-функционального остеосинтеза.

### **Задачи исследования**

1. Провести ретроспективный анализ исходов хирургического лечения переломов ключицы. Изучить причины неблагоприятных исходов и осложнений.

2. Разработать метод лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети на основе остеосинтеза с использованием осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента и ранней функциональной реабилитации.

3. Провести сравнительный анализ сопротивления осевым и угловым нагрузкам систем кость-имплантат-кость с различными способами осевого и смещенного силового шунтирования ключицы на основе конечного элементного моделирования и стендовых испытаний.

4. Разработать программу функциональной реабилитации пациентов с переломами ключицы в зависимости от исходных характеристик стабильно-функционального остеосинтеза.

5. Оценить отдаленные результаты хирургического лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети на основе осевого и смещенного силового шунтирования.

### **Научная новизна**

Изучено распределение напряжений в области ключицы при нагрузках в различных плоскостях на основе конечного элементного моделирования и стендовых испытаний образцов переломов ключицы в средней трети с использованием различных способов фиксации, которое показало преимущество метода осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента по сравнению со смещенным силовым шунтированием при нагрузке в сагиттальной и фронтальной плоскостях.

Разработан метод лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети на основе остеосинтеза с осевым силовым шунтированием, приближенного к физиологическому вектору сегмента с использованием компрессирующего блокируемого стержня (патенты на изобретение №2284786 от 10.10.2006; №2345730 от 10.02.2009) и ранней функциональной реабилитации на основе биомеханического подхода с концентрацией векторов напряжений по оси сегментов плечевого пояса с выбором стартовой нулевой точки среднефизиологического положения.

Изучена эффективность использования метода лечения на основе остеосинтеза с использованием осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому силовому вектору сегмента с применением оригинальной конструкции, определены преимущества и недостатки предлагаемого метода.

## **Патенты и заявки на изобретения**

1. Способ хирургического лечения переломов ключицы в средней трети и устройство для его осуществления / Якупов Ш.Ф. // Патент на изобретение №2284786 от от 10.10.2006.

2. Способ хирургического лечения переломов ключицы в средней трети и устройство для его осуществления / Якупов Ш.Ф., Минасов Б.Ш. // Патент на изобретение №2345730 от 10.02.2009.

## **Теоретическая и практическая значимость**

Предложенный метод оперативного лечения нестабильных переломов ключицы в средней трети с использованием осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента с применением оригинального компрессирующего блокируемого стержня и ранней функциональной реабилитации позволяет улучшить результаты лечения, обеспечивает бытовую, социальную и профессиональную реинтеграцию пациентов.

Проведенный сравнительный анализ различных методов остеосинтеза переломов ключицы в средней трети на основе стендовых испытаний позволил определить диапазон полезных свойств изученных систем.

## **Методический подход к научному исследованию**

Научное исследование проводилось на основе теории баланса силовых векторов, структурно-функциональных стереотипов в кинематической системе организма (Минасов Б.Ш., 1995) и биомеханического подхода, который включал в себя оценку прочностных характеристик систем кость-имплантат-кость и клиническое исследование эффективности предложенной технологии на основе осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента, включающее в себя изучение данных шкал, опросников, клинико-лучевого мониторинга и функциональных возможностей пациента.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Переломы ключицы приводят к структурно-функциональным нарушениям, предопределяющим пороки сращения, посттравматическим деформациям надплечья и каскаду осложнений, детерминированных анатомо-функциональными особенностями сегмента.

2. Метод лечения нестабильных переломов ключицы в средней трети должна основываться на осевом шунтировании, приближенном к физиологическому вектору сегмента.

Функциональная реабилитация пациентов с нестабильными повреждениями ключицы должна проводиться на обеспечении баланса силовых векторов из среднефизиологического положения и применения функциональной ортотерапии.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается достаточным количеством наблюдений, современными методами исследования, соответствующим поставленной цели и задачам. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены убедительными данными, наглядно представленными в таблицах и рисунках. Статистический анализ и интерпретация результатов проведены с помощью современных методов.

Основные положения и результаты диссертационного исследования были доложены и обсуждены: на республиканских съездах и межрегиональных конференциях Ассоциации травматологов, ортопедов и протезистов Республики Башкортостан (Уфа, 2004, 2007, 2008, 2015, 2016, 2017, 2018 гг.), на III Конгрессе «Медицина чрезвычайных ситуаций. Современные технологии в травматологии и ортопедии» (Москва, 24 - 25 мая 2018 года), на VI Всероссийской научно-практической образовательной конференции Приоровские чтения "Остеосинтез" (Москва, 3 - 4 декабря 2018 года), на Всероссийской научно-образовательной конференции, посвященной памяти профессора А.Н. Горячева «Научные достижения и современные

технологии в Российской травматологии и ортопедии» (Омск, 26-27 апреля 2019 года).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликованы 8 научных работ, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК, 2 в журнале Scopus, 1 в профильном журнале, издано 1 учебное пособие, 1 методические рекомендации, получено 2 патента на изобретение.

### **Внедрение результатов исследования в практику**

Разработанные методы современного хирургического лечения пациентов с переломами ключицы внедрены в практику ортопедо-травматологических отделений Государственных бюджетных учреждений здравоохранения Республики Башкортостан ГКБ №13, Больница скорой медицинской помощи, ЦРБ г. Туймазы. Представленные материалы внедрены в учебный процесс кафедры травматологии и ортопедии с курсом Института дополнительного профессионального образования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, используются в программе обучения студентов, интернов, ординаторов, аспирантов и врачей-специалистов.

### **Личный вклад автора**

Диссертация является результатом самостоятельной работы автора по анализу литературных данных с последующим формулированием актуальности, цели и задач исследования. Автором лично осуществлен сбор всего первичного материала, проведение клинических исследований, участие в хирургическом и восстановительном лечении большинства пациентов (более 85%). Статистическая обработка, обобщение и анализ полученных результатов клинических и экспериментальных исследований полностью (100%) выполнены автором самостоятельно.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация изложена на 120 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, состоящего из 203 источников (71 отечественных и 132 иностранных публикаций). Работа иллюстрирована 65 рисунками, 5 таблицами и 8 клиническими примерами.

## ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ДАННЫМ ЛИТЕРАТУРЫ

Широкое и повсеместное внедрение информационных и цифровых технологий раскрыли социальную значимость малых нефатальных повреждений скелета, которые обрели особую значимость в рамках социальной интеграции пострадавших. Назрела необходимость решения проблемы протоколов для медико-экономических стандартов, что создает рамки не только медико-экспертных решений, но правовых сторон микросоциума.

### 1.1. Статистические данные. Эпидемиология

Переломы средней трети ключицы – одна из самых распространенных травм, составляющая от 2 до 5% всех переломов, от 35 до 45% повреждений верхних конечностей. Пациенты с переломом ключицы составляют 12,5–26,1% всех амбулаторных больных. Согласно результатам различных биомеханических исследований, средняя треть – наиболее слабое место ключицы, с чем связана высокая частота переломов этой локализации: переломы средней трети составляют 69–82% среди всех переломов диафиза ключицы. В Европе распространенность переломов ключицы в средней трети составляет 64 случая на 100 000 населения в год [4, 7, 9, 18, 25, 44, 66, 75, 86, 110, 113, 115, 118, 126, 141, 163, 169, 171, 175, 179, 180, 194, 195, 197, 198, 200, 203].

У взрослых переломы средней трети ключицы в большинстве случаев связаны со спортивными травмами или с травмами в результате дорожно-транспортных происшествий, тогда как у детей и у пожилых лиц наиболее типичным механизмом получения травмы является падение. Пиковая частота переломов ключицы отмечается в третьем десятилетии жизни. Около 10% пациентов имеют значительные сопутствующие повреждения травмы, чаще всего переломы позвонков, ребер и других сегментов плечевого пояса. Частота переломов средней трети ключицы у мужчин более чем в два раза

превышает таковую у женщин. Кроме прямого удара в области средней трети ключицы частой причиной перелома диафиза является сила, направленная на акромиальный отросток лопатки, вследствие действия которой происходит перегиб ключицы между акромиально-ключичным и грудино-ключичными сочленениями. Открытые переломы ключицы встречаются редко, их частота составляет от 0,1 до 1,0% [23, 33, 40, 55, 63, 70, 92, 104, 108, 109, 112, 114, 115, 130, 136, 138, 142, 143, 146, 150, 151, 153, 160, 168, 170, 190, 192, 193, 199, 202].

В 86,9% случаев переломы средней трети ключицы происходят со смещением отломков и требуют репозиции. Такое выраженное смещение даже при неоскольчатых переломах происходит вследствие разницы воздействующих на отломки сил: дистальный фрагмент смещается книзу, а проксимальный отломок – кверху вследствие тяги, производимой грудино-ключично-сосцевидной мышцей.

### **Биомеханические особенности плечевого пояса (Капанджи А.И., 2009)**

Плечевой пояс - представлен многосуставным комплексом плечевого пояса, состоящим из 5 суставов. Эти пять суставов объединяют в две группы. Первая группа включает два сустава.

1. Плечевой, или лопаточно-плечевой, сустав является истинно анатомическим суставом с двумя сочленяющимися поверхностями, выстланными гиалиновым хрящом. Это самый важный сустав в данной группе.

2. Поддельтовидный, или «второй плечевой», сустав. Это не анатомический, а физиологический сустав, состоящий из двух скользящих друг по другу поверхностей. Поддельтовидный «сустав» механически связан с плечевым суставом, поскольку любое движение в последнем вызывает движение в нем.

Вторая группа включает три сустава.

1. Лопаточно-грудной или лопаточно-грудноклеточный сустав. Это тоже физиологический, а не анатомический сустав. Он самый важный в

данной группе, хотя и не может функционировать без двух других суставов, механически связанных с ним.

2. Акромиально-ключичный сустав, являющийся истинным суставом, расположен у акромиального конца ключицы.

3. Грудино-ключичный сустав, тоже истинный сустав, расположен у стернального конца ключицы.

В каждой группе входящие в нее суставы механически взаимосвязаны. На практике обе эти группы работают одновременно с разной степенью участия в зависимости от типа совершаемого движения.

Ключица располагается косо, в форме буквы S в задненаружном направлении и образует с фронтальной плоскостью угол  $30^\circ$ . Кпереди и кнутри ключица образует грудино-ключичный сустав с грудиной и акромиально-ключичный сустав с лопаткой, следуя кнаружи и кзади. В состоянии покоя ключица образует угол  $60^\circ$  с лопаткой, однако он может изменяться вследствие движений плечевого пояса [36, 53, 63, 85, 87, 89, 97, 106, 107, 108, 111, 120, 121, 125, 128, 129, 132, 157, 158, 159, 167, 172, 184, 185].

Анатомические и биомеханические свойства этого сегмента не позволяют реализовать общепринятые хирургические доктрины накостного, внутрикостного и внеочагового остеосинтеза. Наиболее востребованными становятся те оперативные приемы, которые обеспечивают стабильность плечевого пояса, функциональность с минимальными ятрогенными осложнениями.

## **1.2. Классификация переломов ключицы**

Классификация переломов ключицы, предложенная Robinson С.М. (1998) основана на анатомическом расположении перелома, степени смещения, количестве отломков. По этой классификации выделяют 3 зоны

локализации перелома: средняя треть, медиальный и латеральный отделы (Рисунок 1.1).

К переломам 1-го типа относятся повреждения 1/5 части ключицы, лежащей медиально относительно вертикальной линии проведенной от центра первого ребра. Ко 2-му типу относятся переломы ключицы, затрагивающие 1/5 часть кости, лежащую латерально вертикальной линии от центра основания клювовидного отростка. В норме здесь находится конусовидный бугорок. Переломы, возникшие в остальных трех пятых ключицы составляют второй тип.

Переломы также поделены на подтипы А и В в зависимости от смещения большего фрагмента. Это определение часто осложнено в связи с S-образной формой ключицы. Для диагностики в сложных случаях при рентгенологическом исследовании используют модифицированные проекции, как например проекцию под углом в 30°.

Переломы 1 типа делятся на внутри- и внесуставные (1А1 и 1А2 соответственно). Переломы ключицы 2А1 – переломы без смещения. К типу 2А2 относятся переломы с наличием углового смещения. Но при этом между отломками кости сохраняется контакт. При переломах типа 2В такой контакт отсутствует. Этот тип подразделяется на два варианта: простые переломы и переломы с клиновидным фрагментом (тип 2В1), и второй подтип – переломы с изолированным фрагментом или многооскольчатые переломы (тип 2В2).

Переломы 3 типа также подразделяются на 3А и 3В, каждый из которых также разделен в соответствии с вовлеченностью суставной поверхности. Смещение при типе 3В характеризуется подъемом и смещением кзади проксимального фрагмента с косым краем обоих фрагментов, либо с отколом фрагмента от дистального конца.

Переломы медиальной части (тип 1), диафизарные переломы без смещения (тип 2А) и переломы дистальной части (тип 3А) обычно имеют

благоприятный прогноз. Частота осложнений обычно выше при переломах диафиза со смещением (тип 2В) и при переломах дистальной части со смещением (тип 3В). Кроме того, при переломах типа 3В особенно высок риск несращения или замедленной консолидации.

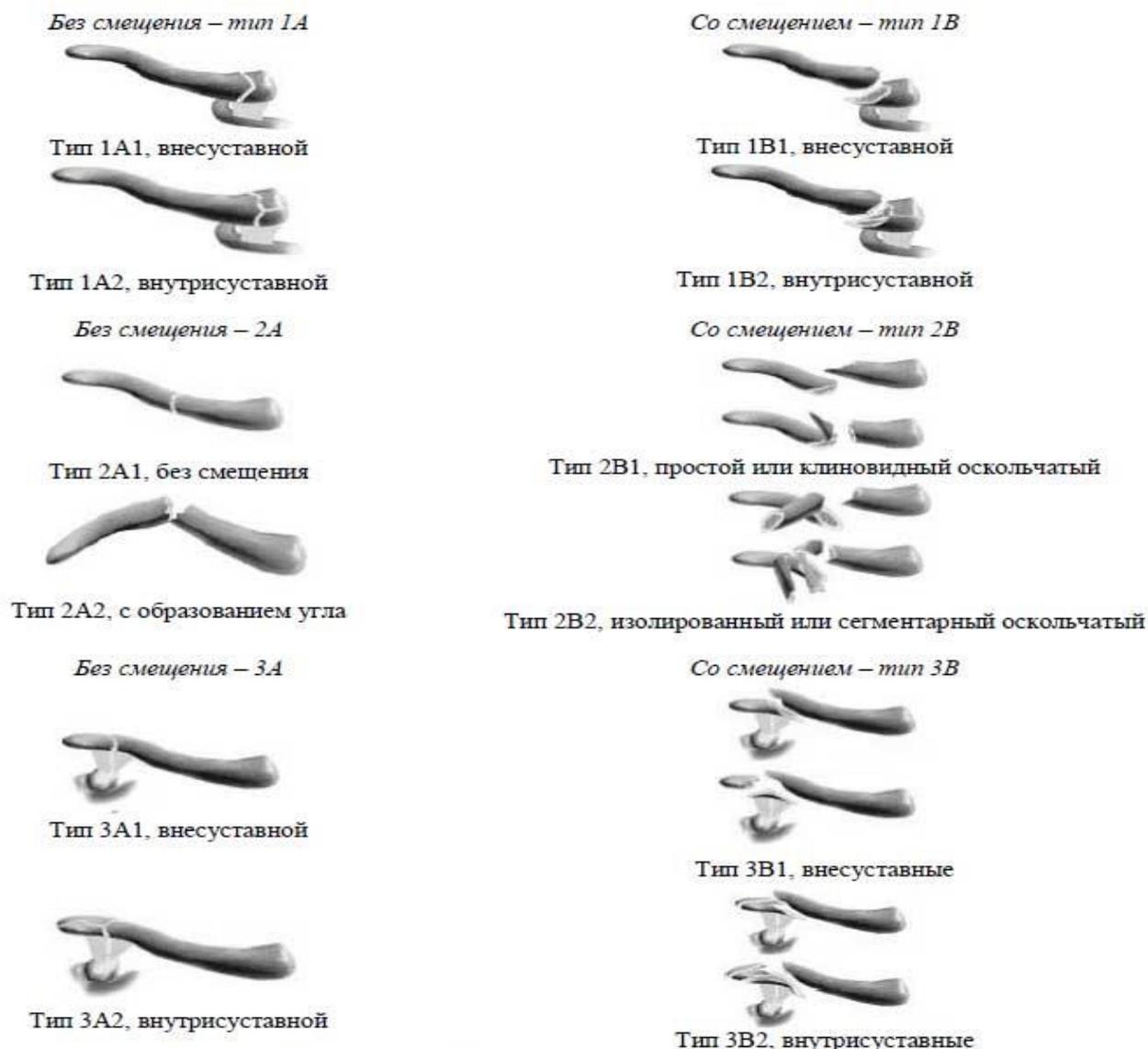


Рисунок 1.1 - Классификация переломов ключицы по С.М. Robinson (1998).

**Классификация переломов ключицы AO/ASIF ( J OrthopTrauma, Vol.10, Suppl. 1, 1996) (Рисунок 1.2).**

*Локализация:* Медиальный конец ключицы (05)

*Тип А.* Медиальный конец ключицы, метафиз (05-А)

*Группы:*

1. экстраартикулярный вколоченный (05-A1)
2. экстраартикулярный смещенный (05-A2)
3. экстраартикулярный оскольчатый (05-A3)

*Локализация:* диафиз ключицы (06)

*Тип А.* Неосложненный простой перелом диафиза (06-А)

Группы:

1. Спиральный (06-А1)
2. Косой (06-А2)
3. Поперечный (06-А3)

*Тип В.* Клиновидной перелом диафиза (06- В)

Группы:

1. Спиральный клиновидный (06-В1)
2. Изогнутый клиновидный (06-В2)
3. Фрагментарный клиновидный (06-В3)

*Тип С.* Сложный оскольчатый (complex) перелом диафиза (06-С)

Группы:

1. Спиральный (06-С1)
2. Сегментарный (06-С2)
3. Неправильный (06-С3)

*Локализация:* латеральный конец ключицы (07)

*Тип А.* Экстраартикулярные переломы метафиза латерального конца ключицы (07-А)

Группы:

1. Вколоченный (07-А1)
2. Со смещением (корако-клавикулярная связка интактна) (07-А2)
3. Многооскольчатый (корако-клавикулярная связка интактна) (07-А3)

*Тип В.* Интраартикулярные переломы латерального конца ключицы (07-В)

Группы:

1. С незначительным смещением (07-B1)
2. Клиновидный перелом со смещением, с вывихом латерального конца ключицы (07-B2)
3. Многооскольчатый перелом со смещением, с вывихом латерального конца ключицы (07-B3)

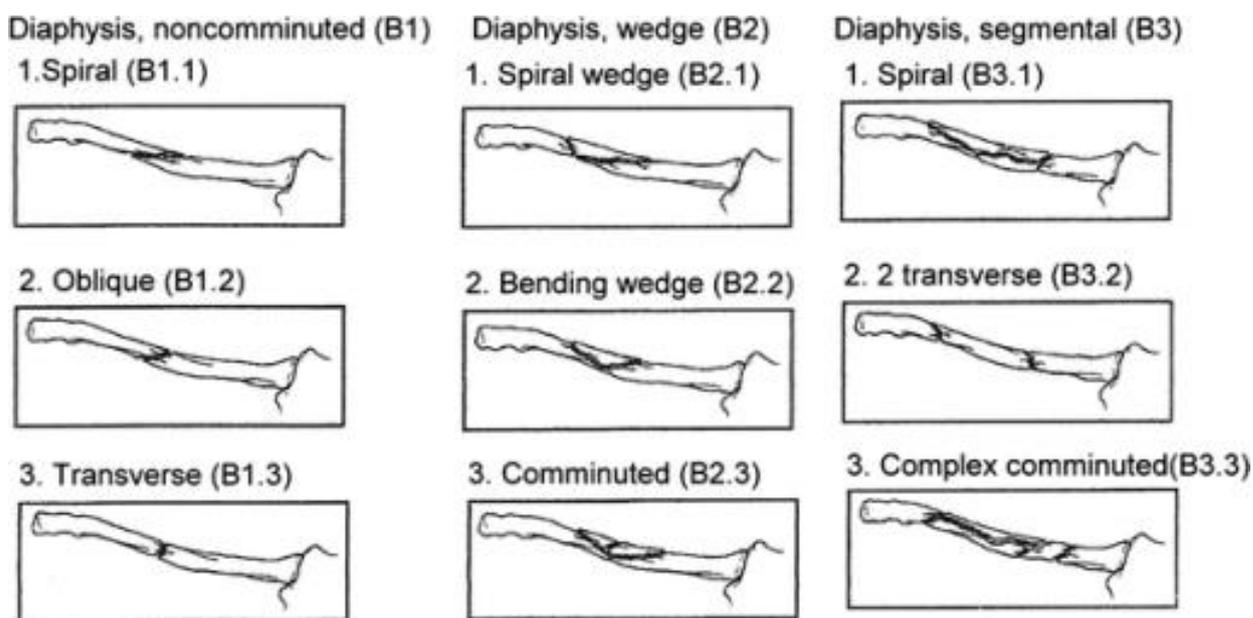


Рисунок 1.2 - Классификация переломов ключицы в средней трети по АО (1996).

### 1.3. Обзор технологий лечения при переломах ключицы в средней трети

Для лечения переломов ключицы применяются как хирургические, так и консервативные методы. Чтобы правильно определить тактику лечения, необходимо учитывать преимущества и недостатки каждого метода.

Показаниями к консервативному лечению считаются свежие закрытые простые неоскольчатые переломы средней трети ключицы без интерпозиции мягких тканей, без сопутствующих повреждений и без тенденции к вторичному смещению, т.е. стабильные переломы. Применяются различные виды мягких повязок, самые распространенные – 8-образная повязка (в

зарубежной литературе встречается термин “бандаж типа рюкзак”), кольца Дельбе, повязка Дезо.

Однако использование консервативных методов лечения переломов средней трети ключицы зачастую не позволяет сохранить репонированные фрагменты в правильном положении до консолидации и сопровождается вторичным смещением отломков. Нестабильность и сохранение крепитации костных отломков через 3–4 нед после травмы свидетельствуют о риске замедленной консолидации перелома или образования ложного сустава. По данным ряда авторов, риск несращения ключицы при консервативном лечении варьирует в пределах от 0 до 29%. При хирургическом лечении этот риск значительно ниже (0–4%). В связи с этим большинство специалистов рекомендуют оперативное лечение при нестабильных переломах [13, 19, 21, 77,96, 98, 133, 134, 137, 145, 149, 152, 154, 161, 186, 187].

Исследования, сравнивающие оперативное с консервативным лечением, показали, что фиксация смещенных переломов приводит к улучшению функциональных исходов и более низкой частоте развития осложнений. Одно из исследований показало, что риск несращений после костного остеосинтеза составил 2,5%, что было значительно ниже, чем для консервативного лечения, при котором ложный сустав отмечался в 5,9% случаев. Для смещенных переломов риск несращений после остеосинтеза составил 2,2%, что было значительно ниже, чем при консервативной терапии (15,1%). В последующих исследованиях через 1 год, у пациентов после хирургического лечения отмечался более высокий уровень удовлетворенности и ранний возврат к трудовой деятельности [39, 50, 109, 118, 147, 176, 177].

Пациенты, получившие оперативное лечение перелома ключицы в средней трети, имеют отличное качество жизни и хороший функциональный результат, средняя DASH составляла  $8,45 \pm 14,0$  (0- 100) [24, 121].

## **Стендовые испытания различных конструкций для остеосинтеза ключицы при переломах в средней трети**

Проведены сравнительные стендовые испытания в виде циклических нагрузок на растяжение между пластинами LCP, фиксированными двумя винтами и неблокируемыми пластинами, которые были фиксированы тремя винтами. При этом не было выявлено значимых различий между сравниваемыми образцами ( $2496 \pm 1102$  Н для 2 блокируемых винтов и  $2715 \pm 1150$  Н для 3 неблокируемых винтов) [11, 28, 33, 43, 46, 58, 61, 64, 112, 162, 164, 173,].

Систематический обзор пятнадцати исследований, включающих сравнительный анализ внутрикостных и накостных систем для остеосинтеза ключицы с использованием автоматизированного поиска баз данных EMBASE и PudMed / MEDLINE не выявил значимых преимуществ между данными технологиями [72, 110, 140].

Еще одно биомеханическое исследование 2 блокирующих против 3 неблокирующих винтов в моделях с нормальной и остеопоротической костью показало, что оба типа конструкций ведут себя по-разному в зависимости от вида нагрузки и качества кости. При ротационной нагрузке в нормальной кости, авторы обнаружили, что конструкция с 3 неблокирующими винтами показала более высокую жесткость и максимальный ротационный момент по сравнению с блокируемой пластиной с помощью 2 винтов:  $461,7 \pm 9,0$  ГПа против  $370,9 \pm 55,0$  ГПа и  $10\ 632 \pm 728$  Н мм против  $9044 \pm 715$  Н мм, соответственно. Однако при остеопорозе конструкция с двумя блокируемыми винтами продемонстрировала более высокую стабильность, чем фиксация тремя неблокируемыми винтами, демонстрируя значительно меньшее смещение ( $1,44 \pm 0,2$  мм против  $1,88 \pm 0,4$  мм) [10, 11, 17, 33, 34, 46, 47, 61, 148, 149 ].

В одной из работ с использованием математического моделирования выявлено, что использование внутрикостного стержня и накостной пластины позволяют обеспечить достаточную степень жесткости фиксации отломков.

Однако при функциональных нагрузках наибольшую стабильность демонстрировал стержневой аппарат внешней фиксации по сравнению со спицевым аппаратом. По итогам работы рекомендуется при небольшой массе тела пациента и минимальных функциональных нагрузках в сочетании с малым сечением ключицы использовать спицевую фиксацию, для средних значений нагрузки применять наkostную пластину или внутрикостный стержень, при значительных функциональных нагрузках наиболее оптимальным считается стержневой аппарат внешней фиксации [10, 17, 34, 47].

### **Исследования по сравнению результатов между различными технологиями остеосинтеза**

Мета-анализ рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) по сравнению результатов технологий наkostного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза с оценкой функции, осложнений и длительности операции не выявил существенной разницы в функциональном состоянии пациентов в отдаленном периоде между двумя группами. Однако проведение наkostного остеосинтеза было сопряжено с достоверно более высоким риском осложнений. При этом остеосинтез пластиной значимо продлевал продолжительность операции на 20,16 мин [3, 8, 16, 21, 35, 42].

Новое поколение предизогнутых пластин, соответствующих S-образной форме ключицы позволило улучшить результаты хирургического лечения при нестабильных переломах в средней трети за счет более оптимального контакта имплантата с костью [26, 28]. Однако использование этих конструкций не позволяет отказаться от широкого оперативного доступа к ключице и обширного скелетирования тканей с повреждением ветвей надключичного нерва, что сопровождается высокой долей осложнений в виде нарушений чувствительности в области ключицы и проксимального отдела плеча (Рисунок 1.3). Поэтому изучение

эффективности лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы с применением предизогнутых пластин требует проведения дальнейших исследований на большом количестве пациентов [3, 4].

Внутрикостный остеосинтез с использованием блокируемого стержня позволяет применять миниинвазивный доступ и уменьшить частоту послеоперационных осложнений, связанных с повреждением ветвей надключичного нерва, а также улучшить функциональное состояние пациентов [3, 4].

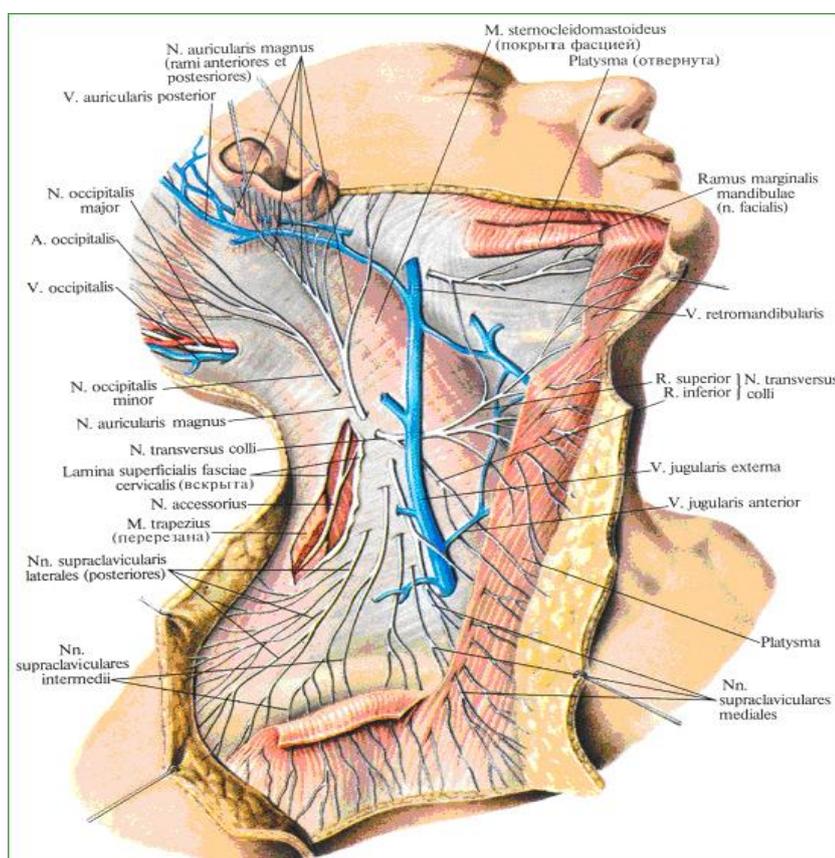


Рисунок 1.3 - Расположение ветвей надключичного нерва в области ключицы (Синельников Р.М., 1996).

Сравнительный анализ результатов остеосинтеза с использованием расширяемого самоблокирующегося внутрикостного стержня обеспечивает более успешные результаты, чем применение наkostной пластины, при переломах средней трети ключицы со смещением, благодаря таким преимуществам как, более короткий срок консолидации (14,8 недель при

внутрикостном против 21,3 недель при накостном остеосинтезе), меньшее число осложнений и лучшие косметические результаты (длина разреза  $4,1 \pm 0,9$  см против  $9,5 \pm 1,7$  см). В работе отмечается, что, несмотря на то, что внутрикостная фиксация имеет много преимуществ, у этого метода есть свои недостатки - техническая сложность операция, риск миграции имплантата, невозможность проведения компрессии на линии перелома и необходимость удаления имплантата. Однако, отмечалось, что эти осложнения, прежде всего, являются особенностями конструкции имплантата и эти осложнения могут быть устранены новым поколением имплантатов [6, 20, 31, 48, 65, 74, 88, 101, 105].

В мета-анализ были включены тринадцать РКИ и 894 пациента. Частота несращения при остеосинтезе внутрикостным штифтом, пластиной и консервативном методе лечения составила 0,9%, 2,4% и 11,4% соответственно. Чаще всего несращение отмечалось у пациентов, лечившихся консервативно, в сравнении с пациентами, которые были оперированы с применением пластины (OR, 0,18; 95% ДИ, 0,05-0,46), либо с использованием внутрикостного остеосинтеза штифтом (OR, 0,12, 95% ДИ, 0,01-0,50). При несращении не было существенной разницы между остеосинтезом пластиной и интрамедуллярным остеосинтезом штифтом (OR, 3,64, 95% ДИ, 0,31-17,27). Инфекции составили 3,6% и 3,9% для внутрикостного остеосинтеза и фиксации пластиной соответственно. Не было существенной разницы между фиксацией пластиной и внутрикостным остеосинтезом при инфекции (OR, 3,64, 95% ДИ, 0,31-17,27) [6, 20, 31, 48, 57, 65, 74, 84, 88, 101, 105, 129, 139, 142, 181, 182].

Внутрикостная фиксация продемонстрировала низкое число несращений и инфекционных осложнений, чем фиксация пластиной, что объясняется меньшим повреждением кровеносных сосудов во время операции. Состояние мягких тканей и адекватное кровоснабжение являются важными факторами для консолидации отломков. При использовании накостного остеосинтеза требуется более широкий доступ, что приводит к

неизбежному повреждению близлежащих нервных структур, обширное скелетирование костных отломков, что способствует нарушению метаболизма костной ткани в средней трети поврежденного сегмента. Фиксация внутрикостного стержня является малоинвазивным и альтернативным методом, который позволяет избежать проблем, возникающих при использовании пластины. Кроме того, удаление пластины потребовало бы общей анестезии и большего разреза, тогда как удаление стержня проводится под местной анестезией, и небольшим надрезом [2, 14, 22, 29, 45].

По данным другого обзора частота псевдоартроза при накостном остеосинтезе колеблется от 2% до 3% и от 0% до 10% при использовании внутрикостного стержня. Тем не менее, уровень неудовлетворительных результатов все же остается высоким и колеблется от 5% до 36% [2,11, 12, 14,17, 22, 23, 26,27, 29, 45, 56, 59, 66, 69].

#### **1.4. Функциональная реабилитация пациентов с переломами ключицы**

В большинстве работ функциональной реабилитации пациентов с переломами ключицы не уделяется достаточного внимания. В публикациях, посвященных консервативному лечению отмечается, что необходима иммобилизация верхней конечности на 4-6 недель и предлагаются различные варианты реализации реабилитационных мероприятий после иммобилизации. В работах, где изучались результаты хирургического лечения, о реабилитации либо не упоминается, либо говорится вскользь. При этом из средств иммобилизации, как правило, используются повязки типа Дезо. Однако, согласно канонам классической ортопедии, наиболее оптимальным считается иммобилизация в среднефизиологическом положении. Нестабильные повреждения ключицы в средней трети неизбежно отражаются не только на состоянии поврежденного сегмента, но и на

состоянии всего плечевого пояса. В связи с этим функциональной реабилитации пациентов должно уделяться большое внимание с учетом биомеханических особенностей ключицы.

По данным различных работ для ортотерапии пациентов с переломами ключицы используются различные средства иммобилизации, включающие отводящую гипсовую повязку, повязка Смирнова-Ванштейна, Дезо, шину ЦИТО. Однако на сегодняшний день данные средства фиксации мало устраивают потребителя, что предопределило использование современных полимерных материалов, для фиксации верхней конечности, более комфортных для пациента.

Анализ состояния вопроса по данным литературы позволяет утверждать, что переломы ключицы – это актуальная проблема современной травматологии и ортопедии в связи с высокой частотой травматизации данного сегмента, с преимущественным поражением лиц трудоспособного возраста. Применяемые технологии лечения не позволяют в полной мере гарантировать благоприятный исход и избежать осложнений. Обширное скелетирование костных отломков в ряде случаев приводит к различным нарушениям консолидации перелома ключицы. Кроме того, применение имплантатов может сопровождаться реакциями раздражения окружающих тканей или перфорацией кожного покрова, что нередко является причиной досрочного удаления. Необходимо также помнить, что существует риск инфицирования послеоперационной раны.

Остается дискуссионным вопрос выбора метода остеосинтеза ключицы, что требует совершенствования традиционных подходов и разработки современных конструкций для хирургического лечения переломов средней трети ключицы [3, 8, 16, 21, 35,37, 42, 45,49, 51, 52, 54, 62, 67, 80,82, 83, 90, 96,100. 102, 106, 117, 118, 122, 123, 124, 127, 191, 193, 196, 200, 201].

Изучение эффективности различных способов лечения данных повреждений позволяет выделить рациональные стороны лечебных

факторов, что прямо отражает ключевые патогенетические механизмы. При этом значительная часть используемых в настоящее время методик оперативного лечения переломов ключицы позволяют достичь быстрого восстановления структурно-функциональных стереотипов пациента в большинстве случаев. Однако отмечается определенная доля осложнений и неудовлетворительных исходов, обусловленных различными причинами: характер перелома, стабильность остеосинтеза, оптимальность реабилитационных мероприятий.

Технология накостного остеосинтеза при условии максимально адаптированного дизайна сопровождается широким скелетированием ключицы, повреждением надключичного нерва и в случае пороков сращения шунтируют силовое напряжение, что детерминирует ложные суставы. Внутрикостные оперативные приемы внесли свою позитивную лепту в технологию лечения переломов ключицы. Но и они имеют свой спектр ятрогений (миграция в точке введения, отсутствие стандартов и необходимость внешней жесткой иммобилизации). Оперативные техники внеочагового остеосинтеза при всей заманчивости управления репозицией и стимуляции остеогенеза опасны в силу окружения мягких тканей, магистральных сосудов и верхушки легкого. Более того эти методы устанавливают зависимость пациента от лечебных факторов – уход за кожей, мягкими тканями, управление репозицией, отсутствие стандартов.

В связи с этим изучение особенностей различных технологий остеосинтеза ключицы и повышение эффективности хирургического лечения, требует углубленного исследования данной проблемы и выработки патогенетически обоснованных эффективных лечебных подходов.

## **ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЛИНИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1 Характеристика клинического материала и методов исследования**

Клиническое исследование проводилось в 2 этапа. На первом этапе был проведен ретроспективный анализ исходов хирургического лечения 32 пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети, изучены осложнения, причины их развития и определены возможные способы решения. На втором этапе выбраны 2 группы для сравнительного анализа. Материалом клинического исследования являются 104 пациентов с переломами ключицы в средней трети, прошедших стационарное лечение в клиниках кафедры травматологии и ортопедии с курсом ИДПО БГМУ и ГБУЗ ЦРБ г. Туймазы в период с 2009 до 2018 г. Мужчин было 82 человека, средний возраст составил 32,3 года. В основной группе (48 пациентов) использовался метод лечения пациентов на основе осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента и ранней функциональной реабилитации с использованием ортотерапии в среднефизиологическом положении плечевого пояса. Из них в 34 случаях использовался оригинальный компрессирующий блокирующий стержень, в 14 случаях применялся блокируемый стержень производства Chm. В группе сравнения (56 пациентов) использовалась технология лечения на основе смещенного силового шунтирования с применением накостного остеосинтеза и общепринятой реабилитации. Обе группы были сопоставимы по полу, возрасту и тяжести травмы.

Обследование пациентов включало в себя оценку ортопедического статуса, функционального состояния по шкале DASH (The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand), шкале ВАШ и рентгенографию поврежденного

сегмента в динамике через 3, 6 и 12 месяцев после операции. На обоих этапах клинического исследования проводился дополнительный опрос пациентов через 1 год после оперативного лечения о наличии дискомфорта в области ключицы.

Для оценки динамики активности в повседневной жизни (уровень активности, по международной классификации функционирования) использовался опросник DASH (Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure - DASH - Опросник исходов и неспособности руки и кисти). Данный опросник в 2005 г. прошел процесс межкультурной адаптации на русском языке (Ягджян Г.В. и соавт., 2005). Основной раздел опросника DASH (шкала неспособностей/симптомов) состоит из 30 пунктов-вопросов, связанных с состоянием функции руки за последнюю неделю. При этом 21 из них выявляют степень трудности выполнения различных физических действий по причине ограничения функции плеча или кисти; 6 пунктов касаются выраженности некоторых симптомов и 3 - социально-ролевых функций. Каждый пункт имеет 5 вариантов ответов, оцениваемых в баллах от 1 до 5. Сумму баллов по всем пунктам затем преобразовывают в 100-балльную шкалу. Таким образом, DASH оценивает ограничение жизнедеятельности за счет верхней конечности от 0 - отсутствие ограничения (хорошая функциональность) до 100- чрезмерное ограничение (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure – DASH опросник исходов и неспособности руки и кисти

Действие	Критерии оценки
1. Открыть плотно-закрытую или новую банку с резьбовой крышкой	1 - не трудно 2 - немного трудно 3 - умеренно трудно 4 - очень трудно 5 - невозможно
2. Писать	
3. Повернуть ключ	
4. Готовить пищу	
5. Толкая, открыть тяжелую дверь	
6. Разместить предмет на полке выше Вашей головы	
7. Делать тяжелые домашние хозяйственные работы (например, мыть стены, мыть полы)	

8. Ухаживать за садом или за двором	
9. Заправить постель	
10. Нести хозяйственную сумку или портфель	
11. Нести тяжелый предмет (более 4.5 кг)	
12. Заменить лампочку люстры выше вашей головы	
13. Мыть или сушить волосы	
14. Мыть спину	
15. Надеть свитер	
16. Резать ножом продукты	
17. Действия или занятия, требующие небольшого усилия (например, игра в карты, вязание и т.п.)	
18. Действия или занятия, требующие усилия (напр., подметание, работа молотком, теннис и т.п.)	
19. Действия или занятия, при которых Вы свободно перемещаете руку (напр., игра с летающей тарелкой, в бадминтон и т.п.)	
20. Управлять потребностями транспортировки (перемещение с одного места на другое)	
21. Сексуальные действия	
22. До какой степени проблема вашей руки, плеча или кисти мешает нормальной социальной активности (в кругу семьи, друзей, соседей) в течение прошлой недели?	1 - нисколько 2 – немного 3 – умеренно 4 – много 5 - чрезвычайно
23. Были ли Вы ограничены в вашей работе или других регулярных действиях из-за проблемы с рукой, плечом или кистью в течение прошлой недели?	1 - без ограничения 2 - немного 3 - умеренно 4 - много 5 - чрезвычайно
24. Боль в руке, плече или кисти	1 – нет
25. Боль в руке, плече или кисти при выполнении той или иной специфической работы	2 – небольшая 3 – умеренная
26. Покалывание в руке, плече или кисти	4 – очень сильная
27. Слабость в руке, плече или кисти	5 - чрезвычайно
28. Тугоподвижность руки, плеча или кисти	сильная
29. Насколько трудно было спать из-за боли в руке, плече или кисти в течение прошлой недели?	1 - не трудно; 2 - немного трудно; 3 - умеренно трудно; 4 - очень трудно; 5 - настолько трудно, что не могу спать

30. Я себя чувствую менее способным(ой), менее уверенным(ой) или менее полезным(ой) из-за проблемы моей руки, плеча или кисти	1 - строго не согласен(на); 2 - не согласен(на); 3 - ни согласен(на), ни не согласен(на); 4 - согласен(на); 5 - строго согласен(на)
---	---

Отличным результатом считается сумма до 25 баллов, от 26 до 50 – хорошим, от 51 до 75 – удовлетворительным, от 76 до 100 – неудовлетворительным.

## **2.1 Характеристика экспериментальных исследований и стендовых испытаний**

Исследованы группы образцов ключицы с переломами в средней трети, полученными по одинаковому механизму в эксперименте на биоманекенах, синтезированные различными видами имплантатов с рандомизацией технологии остеосинтеза, а также одна группа с интактной костью. Биоманекены были сопоставимы по антропометрическим, возрастным и половым характеристикам. Методом случайного выбора определялся образец кость-имплантат-кость для проведения испытания.

Проведены стендовые испытания системы кость-имплантат-кость в условиях, приближенных к реальным по механогенезу разрушения. Испытание проводилось на универсальном динамометре INSTRON 1185. Концы образцов фиксировались пластичной эпоксидной композицией в металлических стаканах диаметром 42 мм, высотой 15 мм. Деформация образцов проводилась в трех плоскостях: в горизонтальной плоскости (по оси ключицы, при этом акромиальный конец испытуемых моделей располагался внизу, грудинный вверху), во фронтальной плоскости (сверху вниз) и в сагиттальной плоскости (спереди назад). Каждая исследуемая система подвергалась дозированной нагрузке по оси конечности, до полного

разрушения со скоростью 2мм в мин. Результаты испытания отображены на графиках где ось X время в секундах (сек), ось Y нагрузка в ньютонах (Н).

Исследование прочностных свойств в горизонтальной плоскости по оси ключицы проводили с использованием следующих групп образцов:

- 1) Образец с интактной ключицей.
- 2) Образец с реконструктивной пластиной (толщина 1,2 мм).
- 3) Образец с реконструктивной пластиной (толщина 2,3 мм).
- 4) Образец с блокируемым стержнем оригинальной конструкции
- 5) Образец с пластиной LCP.
- 6) Образец с внутрикостным стержнем без блокирования (3,5 x 4,5 мм)
- 7) Образец с внутрикостным стержнем без блокирования (2 x 3 мм).

Исследование прочностных свойств во фронтальной и сагиттальной плоскостях проводилось с использованием трех групп образцов:

- 1) Образец с блокируемым стержнем оригинальной конструкции
- 2) Образец с прямой пластиной для остеосинтеза ключицы
- 3) Образец с реконструктивной пластиной (толщина 2,3 мм).

Протоколирование стендовых испытаний проводилось с помощью аналогового цифрового преобразователя с автоматической регистрацией времени, скорости, силы нагрузки и кинематографии (Рисунок 2.1). На стенде регистрировались максимальные пиковые значения сопротивления нагрузке, длительность эффективного сопротивления нагрузке, критические точки несостоятельности системы, величина падения межфрагментарной стабильности и характер падения напряжения.



Рисунок 2.1 - Расположение системы кость-имплантат-кость при стендовых испытаниях в динамометре INSTRON 1185.

Расчет распределения внутренних напряжений в костной ткани при воздействии различных нагрузок проводили с использованием программного комплекса конечного элементного моделирования ANSYS Mechanical (Рисунок 2.2) в ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (Институт компьютерных исследований, директор, проф. Газизов Р.К., доц. Бикмеев А.Т.).

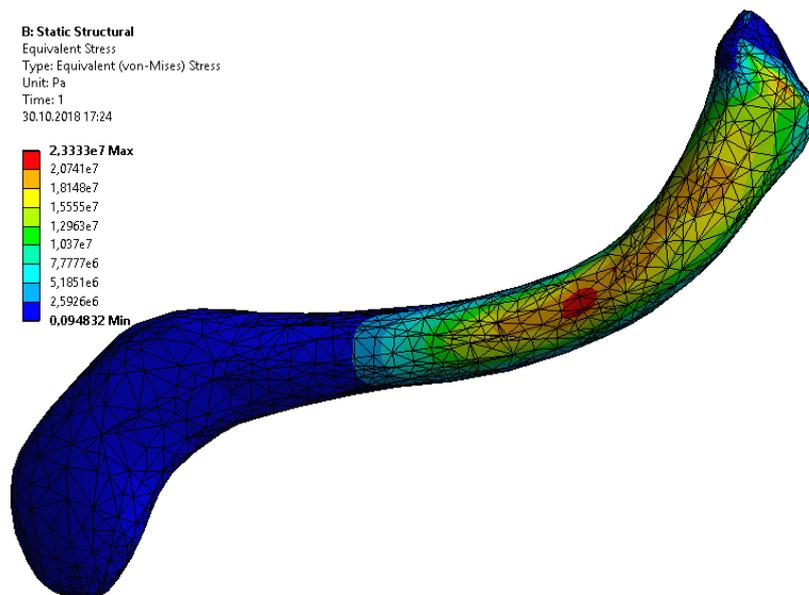


Рисунок 2.2 - Расчет распределения напряжений на основе конечного элементного моделирования

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью методов медико-биологической статистики с использованием программного пакета Statistica 7,0. Для количественных показателей вычисляли среднее, среднеквадратическое отклонение, медиану, минимум, максимум, размах. Для выбора критериев сравнения групп выполнялась проверка нормальности распределения с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Для сравнения групповых средних в двух независимых группах использовался t-критерий Стьюдента.

Исследование было проведено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации. Все лица были проинформированы и дали согласие до их включения в исследование. Протокол исследования одобрен экспертным советом по биомедицинской этике по клиническим дисциплинам ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

### **ГЛАВА 3. РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ПЕРЕЛОМАМИ КЛЮЧИЦЫ В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ ПО МАТЕРИАЛАМ КЛИНИК ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ**

Хирургическое лечение пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети позволяет большинству лиц вернуться к исходным стереотипам образа жизни и обеспечивает бытовую, социальную и профессиональную интеграцию. Однако возможности любой хирургической технологии ограничены определенными рамками за пределами которых развиваются осложнения, имеющие устойчивую долю в структуре исходов, что диктует необходимость анализа причин неудовлетворительных результатов. В связи с этим на 1-ом этапе клинического исследования был проведен ретроспективный анализ исходов лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети по ключевым показателям эффективности, к которым относятся: функциональное состояние, качество жизни, уровень боли и частота осложнений.

Проанализированы исходы лечения 32 пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети. Во всех случаях использовался накостный остеосинтез. Общий койко-день составил  $11,3 \pm 0,82$ , послеоперационный койко-день -  $7,89 \pm 0,43$ . Анализ послеоперационных осложнений был проведен через 12 месяцев после операции (Таблица 3.1). Функциональное состояние верхней конечности по шкале DASH через 1 год после операции составило  $27,3 \pm 5,27$  баллов.

Через 1 год после операции среди пациентов проводилось дополнительное опрос по анкете, в которой задавался один вопрос: отмечает ли пациент дискомфорт, связанный с металлоконструкцией в области оперированной ключицы по сравнению с симметричной областью противоположной стороны. Установлено, что 25 человек (78,13%) отметили, что они испытывают дискомфорт в области оперированной ключицы в по

сравнению с контралатеральной стороной. В большинстве случаев пациенты отмечали незначительно выраженный болевой синдром при физической нагрузке или физический дискомфорт в связи с наличием металлоконструкции, а также психологический дискомфорт в связи с визуальным и пальпаторным определением пластины.

Таблица 3.1 - Осложнения остеосинтеза ключицы по данным ретроспективного анализа, (n=32)

Виды осложнений	Количество случаев
Нарушения чувствительности в области ключицы и проксимального отдела плеча	28 (87,5%)
Контрактура плечевого сустава	7 (21,88%)
Металлоз	4 (12,5%)
Деформация надплечья	4 (12,5%)
Замедленная консолидация	2 (6,25%)
Миграция имплантата	2 (6,25%)
Ложный сустав ключицы	1 (3,13%)
Разрушение имплантата	1 (3,13%)

Клинический пример. ♂, 51 год, травма бытовая. Диагноз при поступлении: закрытый оскольчатый перелом средней трети левой ключицы. Был выполнен накостный остеосинтез реконструктивной пластиной. Через 7 месяцев отмечается миграция винтов, вторичное смещение отломков (Рисунок 3.1) В дальнейшем выполнено удаление пластины, отмечались признаки металлоза и несращения перелома (Рисунок 3.2).

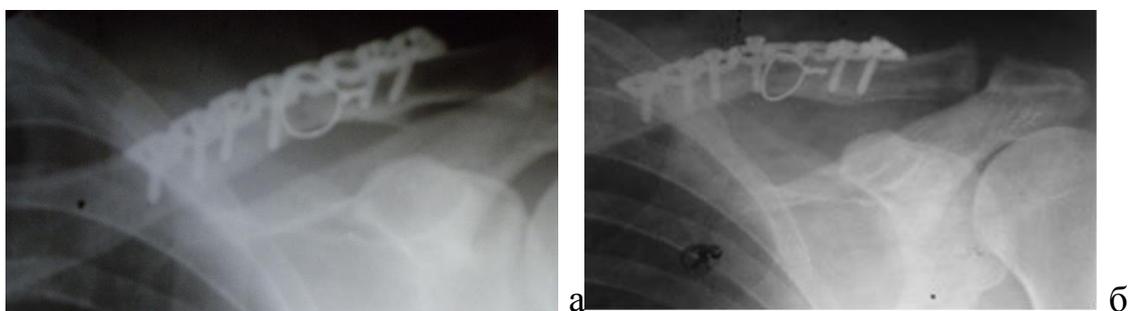


Рисунок 3.1 - ♂, 51 год, рентгенограммы после оперативного лечения; а - через 1,5 месяца после остеосинтеза правой ключицы накостной пластиной; б – вторичное чрезфиксаторное смещение отломков после накостного остеосинтеза правой ключицы



Рисунок 3.2 - ♂, 51 год, рентгенограмма после удаления реконструктивной пластины

Клинический пример. ♀, 34 года, травма бытовая. Диагноз при поступлении: закрытый перелом средней трети левой ключицы со смещением отломков (Рисунок 3.3). Был выполнен накостный остеосинтез пластиной. Дальнейшая динамика без особенностей, через 6 недель достигнуто сращение перелома. Через 1 год выполнено удаление металлоконструкции (Рисунок 3.4). Однако через 2 недели отмечается повторный перелом при незначительной травме (Рисунок 3.5). Далее проводилось консервативное лечение. Функциональное состояние верхней конечности по шкале DASH составило 28,7 баллов



Рисунок 3.3 - ♀, 34 года, рентгенограмма при поступлении



Рисунок 3.4 - ♀, 34 года, рентгенограмма после удаления пластины

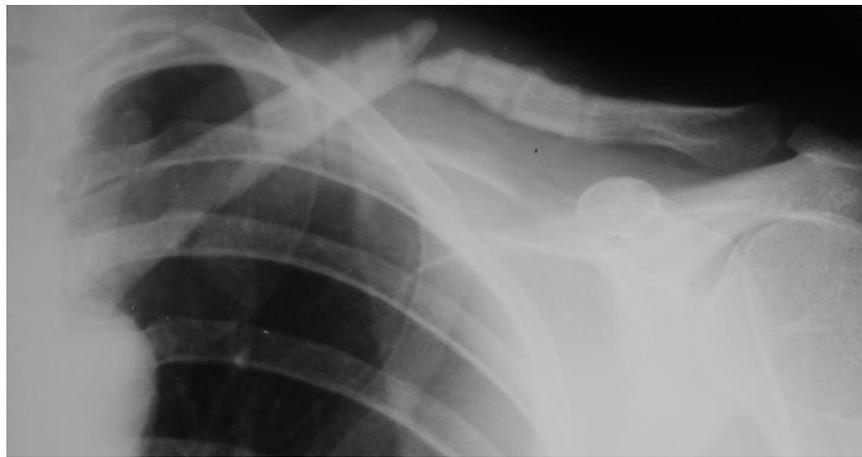


Рисунок 3.5 - ♀, 34 года, рентгенограмма после повторной незначительной травмы



Рисунок 3.6 - ♀, 34 года, рентгенограмма через 3 месяца после повторной травмы, после консервативного лечения.

Клинический пример. ♂, 31 год, травма бытовая. Диагноз при поступлении: закрытый оскольчатый перелом средней трети правой ключицы. Был выполнен накостный остеосинтез пластиной. Через 1,5 года отмечается консолидация перелома (Рисунок 3.7). Однако пациента беспокоит дискомфорт в области ключицы, болезненность в области ключицы и плечевого сустава при физических нагрузках.(Рисунок 3.8). Функциональное состояние верхней конечности по шкале DASH через 1 год после операции составило 26,4 балла.

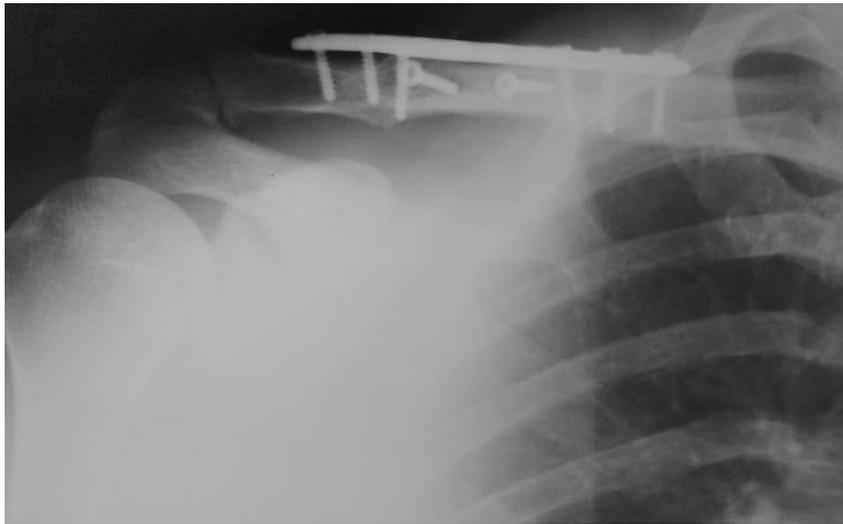


Рисунок 3.7 - ♂, 31 год, рентгенограмма через 1,5 года после оперативного лечения



Рисунок 3.8- ♂, 31 год, функциональные возможности пациента через 1,5 года после оперативного лечения

По данным ретроспективного анализа исходов хирургического лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети определялись различные осложнения. Наиболее часто отмечались нарушения чувствительности в области ключицы и проксимального отдела плеча, контрактура плечевого сустава. Также встречались осложнения, требовавшие повторных хирургических вмешательств – ложный сустав средней трети ключицы, миграция конструкции. По данным опроса пациенты часто жаловались на наличие дискомфорта, связанного с металлоконструкцией.

Данные осложнения обусловлены ограниченностью диапазона полезных свойств технологии лечения на основе накостного остеосинтеза. В связи с этим требуется разработка метода лечения пациентов с переломами ключицы, которая превосходит эффективность традиционных методов лечения. Предпочтительным вариантом может стать использование остеосинтеза с применением осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента.

## ГЛАВА 4. МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ПЕРЕЛОМАМИ СРЕДНЕЙ ТРЕТИ КЛЮЧИЦЫ

### 4.1 Разработка универсального фиксатора с осевым типом силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору

Проведено исследование распределения векторов напряжения при различных нагрузках на ключицу на основе конечного элементного моделирования. Установлено, что при нагрузках в различных плоскостях концентрация векторов напряжения приходится на среднюю треть сегмента с деформацией на 5мм, что обуславливает высокую долю переломов именно в этой области (Рисунок 4.1, 4.2).

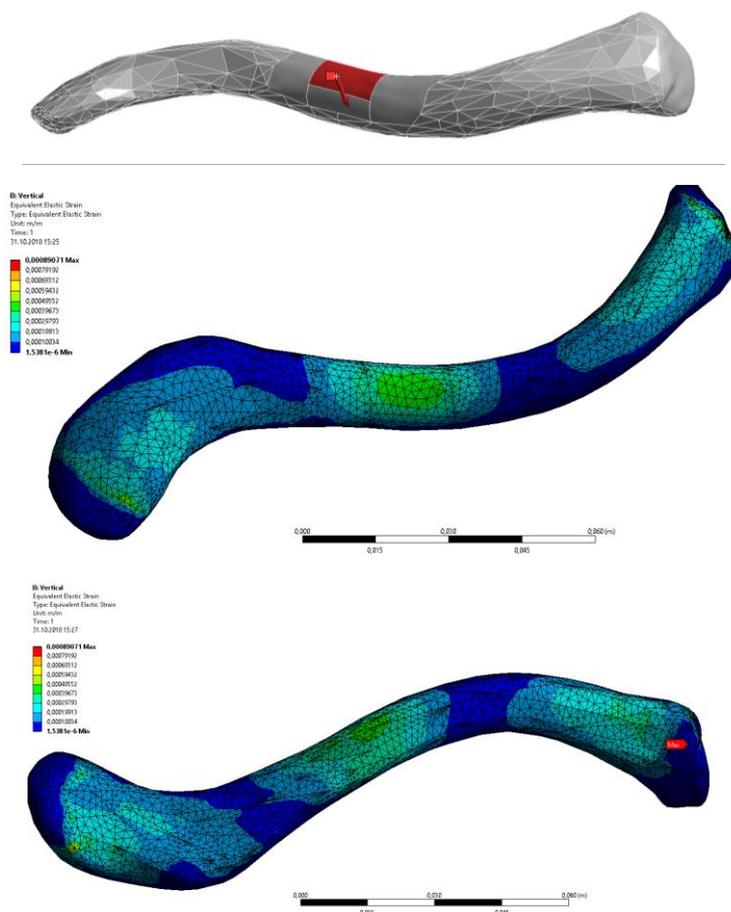


Рисунок 4.1 - Распределение векторов напряжения при нагрузке в сагиттальной плоскости (сверху – вниз).

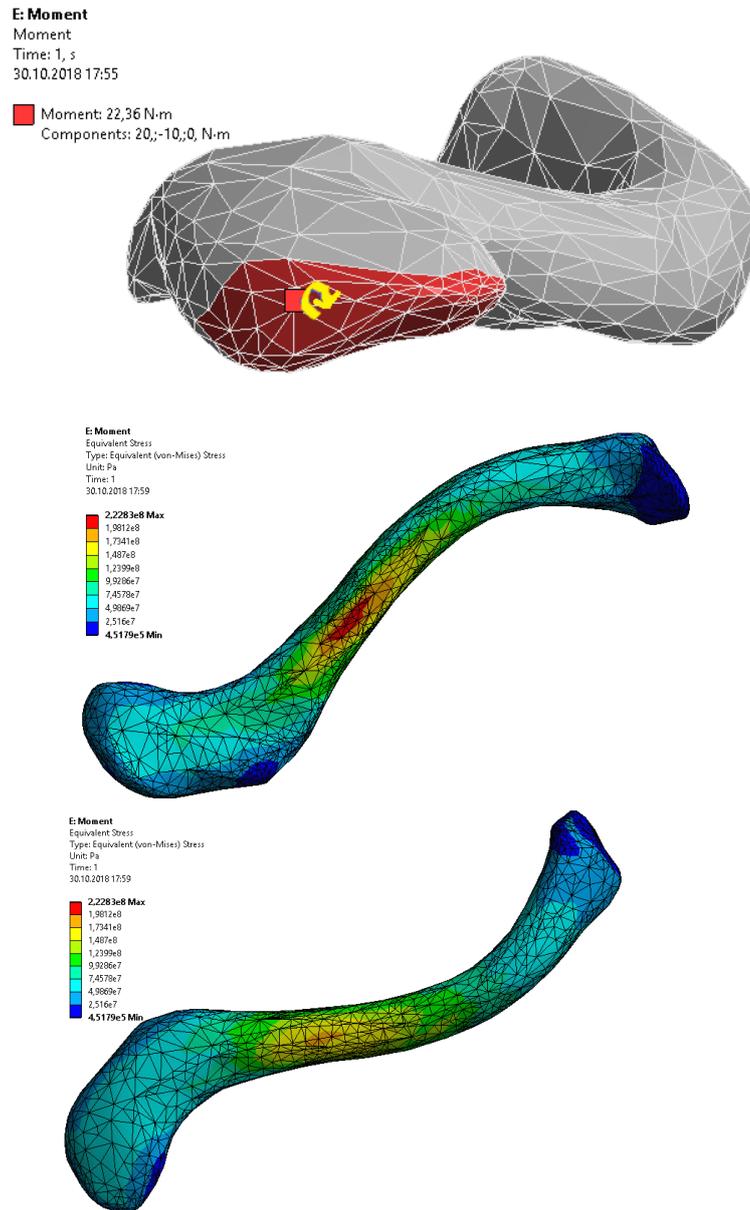


Рисунок 4.2- Распределение напряжений при ротационной нагрузке с моментом силы (22 Н·м). Ось момента совпадает с центральной осью ключицы.

Реализация методики осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору ключицы проводилась на основе использования имплантата оригинальной конструкции для внутрикостного остеосинтеза ключиц. Разработан способ хирургического лечения переломов ключицы в средней трети и компрессирующий блокируемый стержень для остеосинтеза ключицы (патенты на изобретение №2284786 от 10.10.2006, №2345730 от 10.02.2009) на основе осевого силового шунтирования, приближенного

физиологическому вектору сегмента. Имплантат был изготовлен из нержавеющей стали в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5832-1-2010, индивидуально для каждого пациента. Имплантат оригинальной конструкции для внутрикостного остеосинтеза ключицы является компрессирующим блокируемым стержнем, который представляет собой стержень круглого сечения 1, с резьбой 2 на одном конце и плоским расширением 3 с отверстием под винт 4 на другом конце. Устройство имеет две съемные части: прямоугольную металлическую накладку 5 с отверстием под винт 6 с напаянной трубкой 7 и компрессирующую гайку 8. Внутренняя часть трубки 7 выполнена под усеченный цилиндр и имеет резьбу с минимальным допуском к резьбовому концу стержня 1, который также выполнен в виде усеченного цилиндра (Рисунок 4.3, 4.4) Вследствие этого исключается взаимная подвижность пары - стержень+накладка.

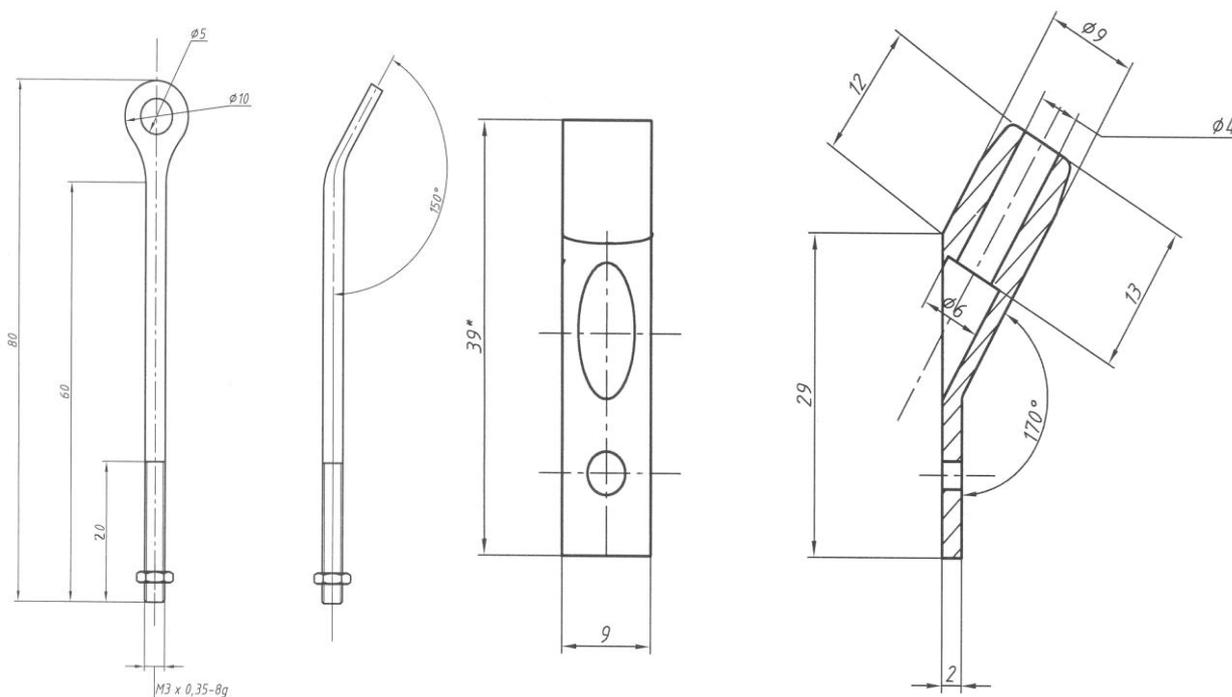


Рисунок 4.3 - Чертеж оригинального интрамедуллярного стержня с блокированием для остеосинтеза ключицы.

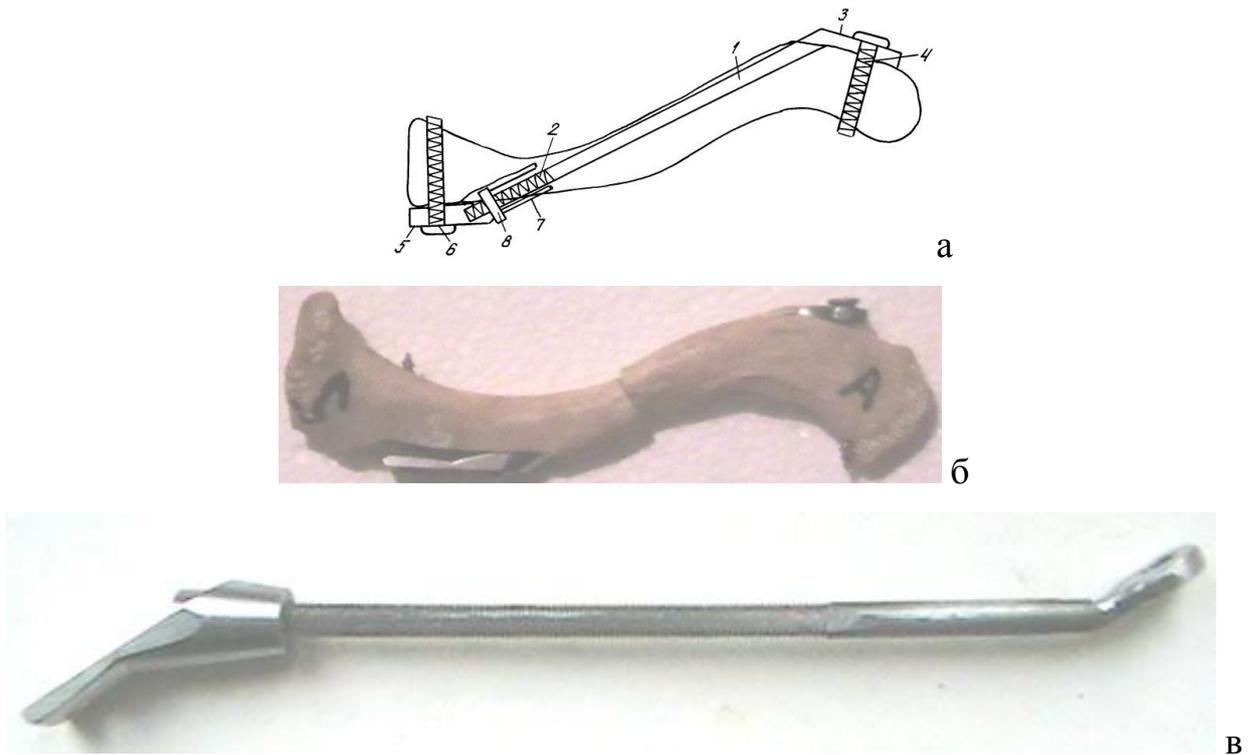


Рисунок 4.4 - Стержень оригинальной конструкции (а – схематичное изображение; б – после остеосинтеза на биоманекене; в – фото имплантата, вид сверху)

Была построена геометрическая модель оригинального стержня, с последующим созданием конечно-элементной модели ключицы с имплантатом (Рисунок 4.5).

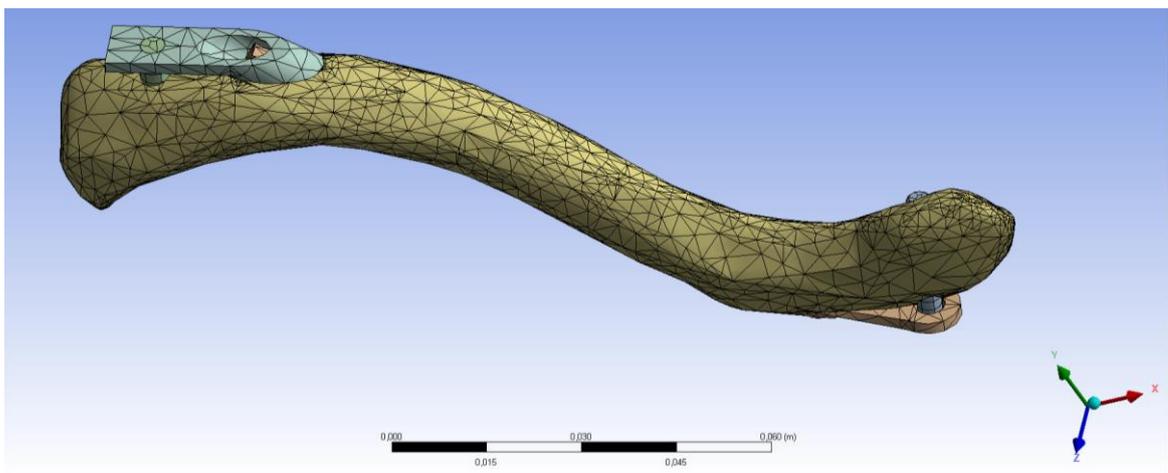


Рисунок 4.5 - Конечно-элементная модель ключицы с оригинальным стержнем.

Моделирование нагрузок по оси, на излом и ротационное смещение на модели ключицы с осевым типом шунтирования выявило уменьшение максимальных значений перемещения с 5мм до  $\sim 3,7$  мм. При этом максимальные напряжения возросли и были сосредоточены в имплантате (Рисунок 4.6).

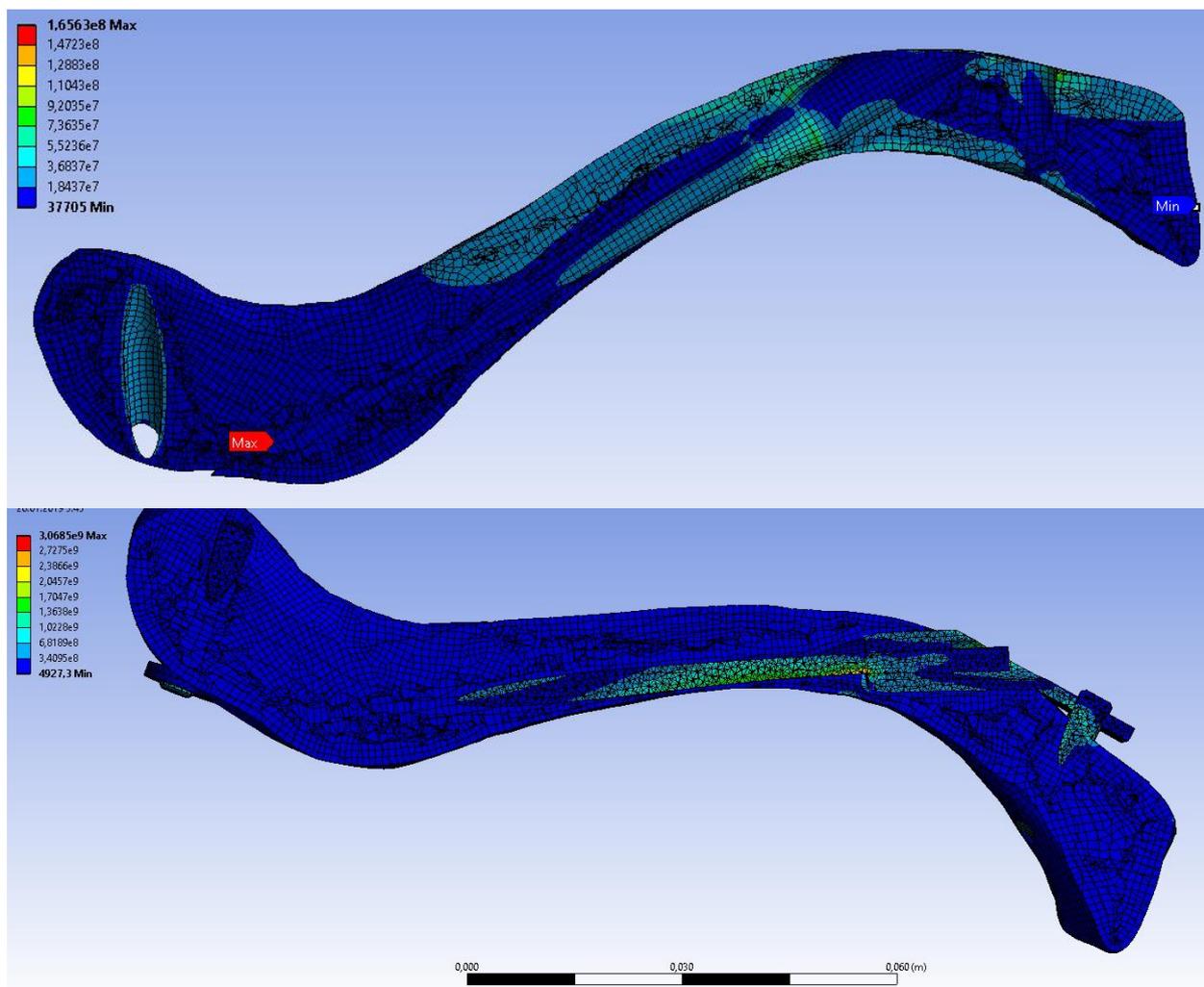


Рисунок 4.6 - Распределение нагрузок в конечно-элементной модели ключицы с оригинальным стержнем.

Исследование распределений напряжений и величины смещения в модели ключицы с оригинальным стержнем на основе конечного элементного моделирования с использованием программного комплекса конечного элементного моделирования ANSYS Mechanical, выявило уменьшение деформации и перераспределение напряжений на конструкцию в отличие от модели интактной ключицы.

Сравнительный анализ величины смещения между наkostной и внутрикостной фиксации на основе конечного элементного моделирования выявил преимущество внутрикостной фиксации при нагрузке 500Н, 1000Н и 2000Н в сагиттальной (спереди-назад), фронтальной (сверху-вниз) плоскостях и ротационной нагрузке (рисунок 4.7, рисунок 4.8, таблица 4.1). Наиболее выраженное преимущество прочностных характеристик моделей ключицы с внутрикостной фиксацией отмечалось при ротационной нагрузке (диапазон в 2,02 – 2,89 раза) и при нагрузке в сагиттальной плоскости (в 2,27 – 2,32 раза). Менее значимое преимущество определялось при нагрузке во фронтальной плоскости (в 1,67 – 1,7 раза). Отмечалось определенное преимущество наkostной фиксации при нагрузке по оси сегмента (в 1,06 – 1,4 раза).

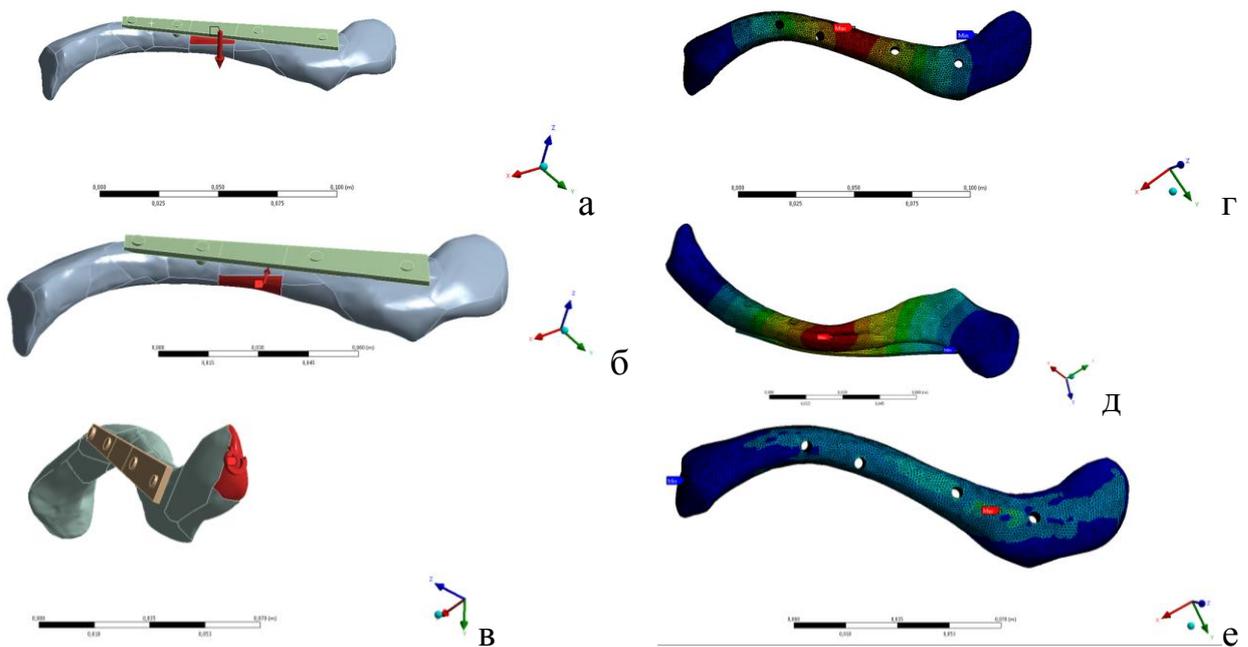


Рисунок 4.7. Исследование прочностных характеристик моделей ключицы при наkostной фиксации в условиях различных видах нагрузок; а - во фронтальной плоскости (сверху-вниз), б – в сагиттальной плоскости (спереди-назад), в – при ротационной нагрузке; г, д, е – распределение концентраций напряжения.

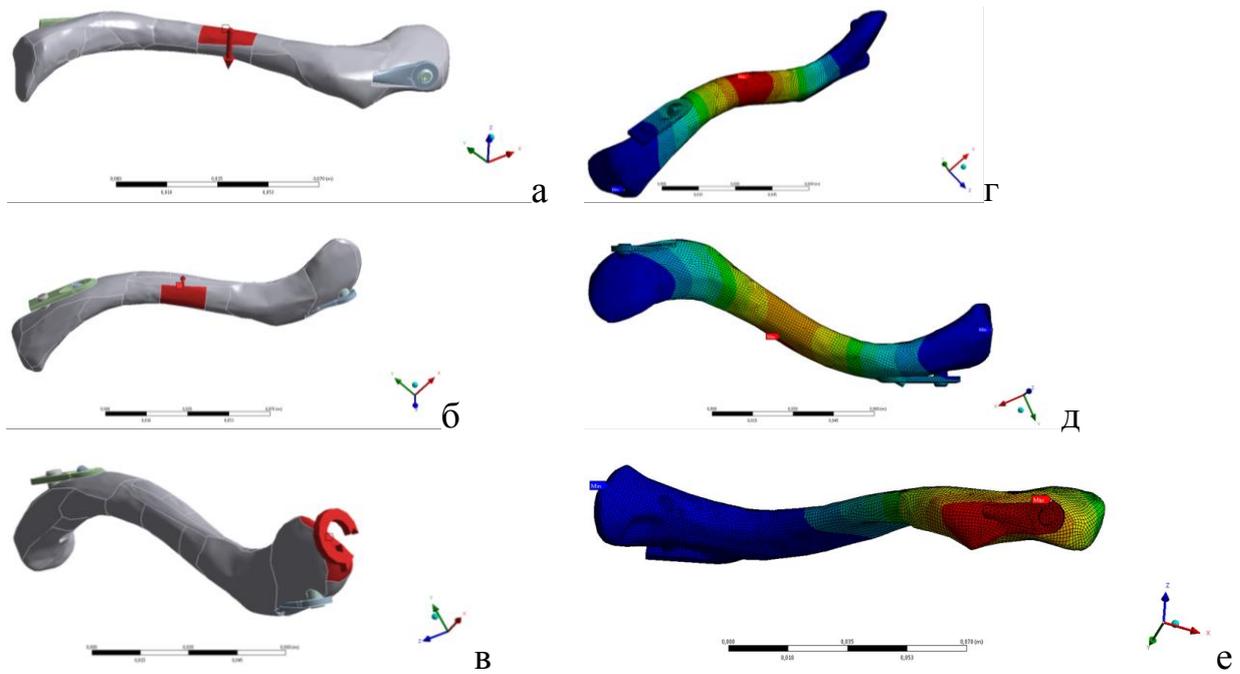


Рисунок 4.8. Исследование прочностных характеристик моделей ключицы при внутрикостной фиксации в условиях различных видах нагрузок; а - во фронтальной плоскости (сверху-вниз), б – в сагиттальной плоскости (спереди-назад), в – при ротационной нагрузке; г, д, е – распределение концентраций напряжения.

Таблица 4.1. - Сравнительный анализ величины деформации моделей ключицы на основе конечного элементного моделирования при накостной и внутрикостной фиксации

Вид и величина нагрузки	Величина деформации при накостной фиксации, мм	Величина деформации при внутрикостной фиксации, мм
Во фронтальной плоскости (сверху-вниз)		
500Н	4,4	2,6
1000Н	8,7	5,2
2000Н	17,5	10,3
В сагиттальной плоскости (спереди-назад)		
500Н	2,6	1,1
1000Н	5,1	2,2
2000Н	10,0	4,4
Ротационная нагрузка		
500Н	18,4	9,1
1000Н	36,8	17,1
2000Н	73,7	25,5
Нагрузка по оси		
500Н	3,9	3,7
1000Н	7,7	8,2
2000Н	15,4	21,5

## 4.2 Результаты стендовых испытаний различных технологий остеосинтеза ключицы

Исследованы группы образцов ключицы с переломами в средней трети, полученными по одинаковому механизму в эксперименте на биоманекенах, синтезированные различными видами имплантатов с рандомизацией технологии остеосинтеза, а также одна группа с интактной костью. Испытание проводилось на универсальном динамометре INSTRON 1185.

Каждая исследуемая система подвергалась дозированной нагрузке, до полного разрушения со скоростью 2 мм в мин. Результаты испытания отображены на графиках где ось X время в секундах (сек), ось Y нагрузка в ньютонах (Н).

Исследование прочностных свойств по оси ключицы проводили с использованием следующих групп образцов:

1. Образец с интактной ключицей.
2. Образец ключицы, синтезированный реконструктивной пластиной (толщина 1,2 мм).
3. Образец ключицы, синтезированный реконструктивной пластиной (толщина 2,3 мм).
4. Образец ключицы, синтезированный блокируемым стержнем оригинальной конструкции
5. Образец ключицы, синтезированный пластиной с угловой стабильностью.
6. Образец ключицы, синтезированный внутрикостным стержнем без блокирования (3,5 x 4,5 мм)
7. Образец ключицы, синтезированный внутрикостным стержнем без блокирования (2 x 3 мм).

Исследование прочностных свойств во фронтальной и сагиттальной плоскостях проводилось с использованием трех групп образцов:

1. Образец с блокируемым стержнем оригинальной конструкции

2. Образец с прямой пластиной для остеосинтеза ключицы
3. Образец с реконструктивной пластиной (толщина 2,3 мм).

Протоколирование стендовых испытаний проводилось с помощью аналогового цифрового преобразователя с автоматической регистрацией времени, скорости, силы нагрузки и кинематографии. На стенде регистрировались максимальные пиковые значения сопротивления нагрузке, длительность эффективного сопротивления нагрузке, критические точки несостоятельности системы, величина падения межфрагментарной стабильности и характер падения напряжения.

#### **Исследование прочностных свойств по оси ключицы**

- 1) Образец с интактной ключицей продемонстрировал высокую резистентность к нагрузке - пик нагрузки на 468 секунде испытания составил 2743Н. Далее отмечалось резкое падение до 0 на 502 с. (Рисунок 4.9, 4,10).

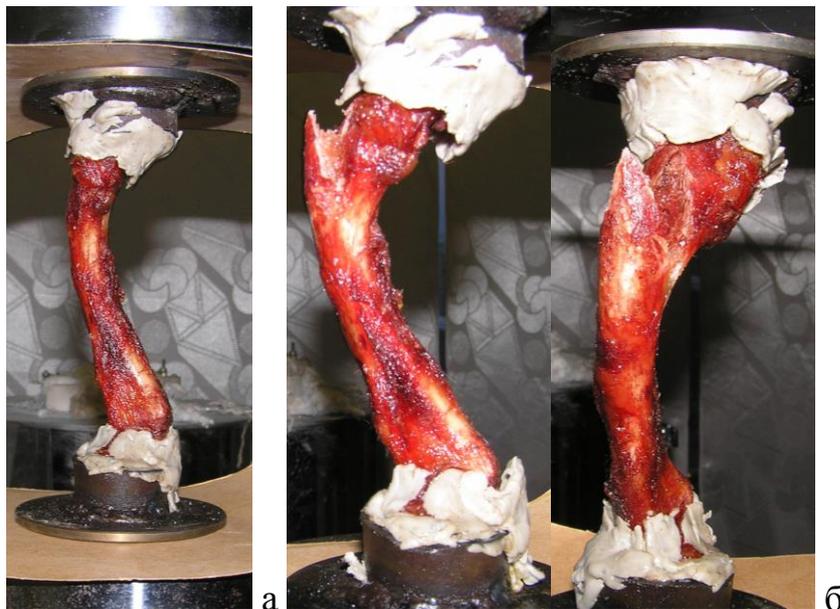


Рисунок 4.9 - Исследование прочностных свойств интактной ключицы; а - вид неповреждённой ключицы, б - вид разрушенной ключицы

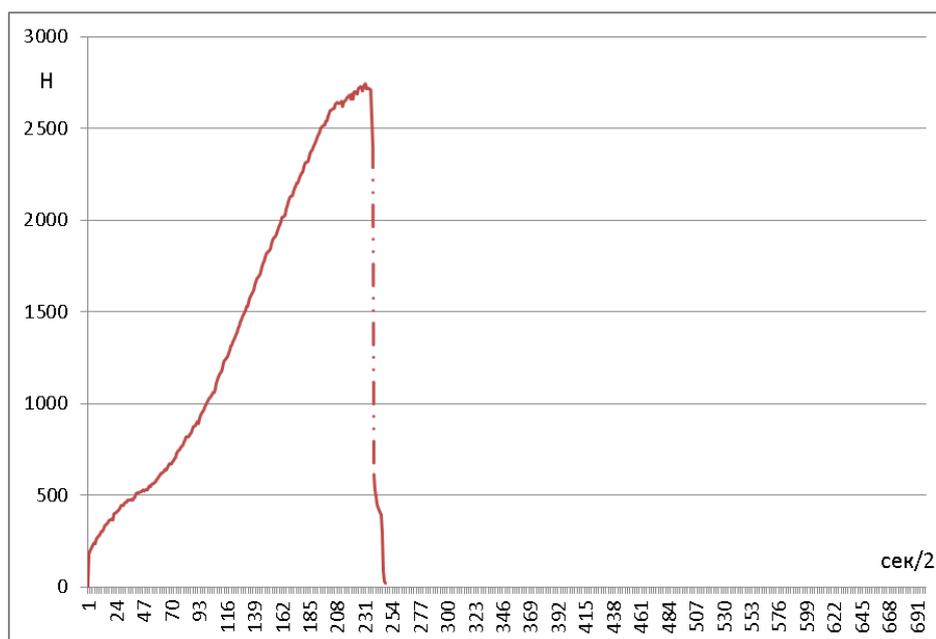


Рисунок 4.10 - График разрушения интактной ключицы

2) Образец с реконструктивной пластиной (толщина 1,2 мм).

Пик нагрузки на 254 секунде испытания - 1610 Н, затем постепенное снижение усилия до 55 Н на 1402 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.11, 4.12).

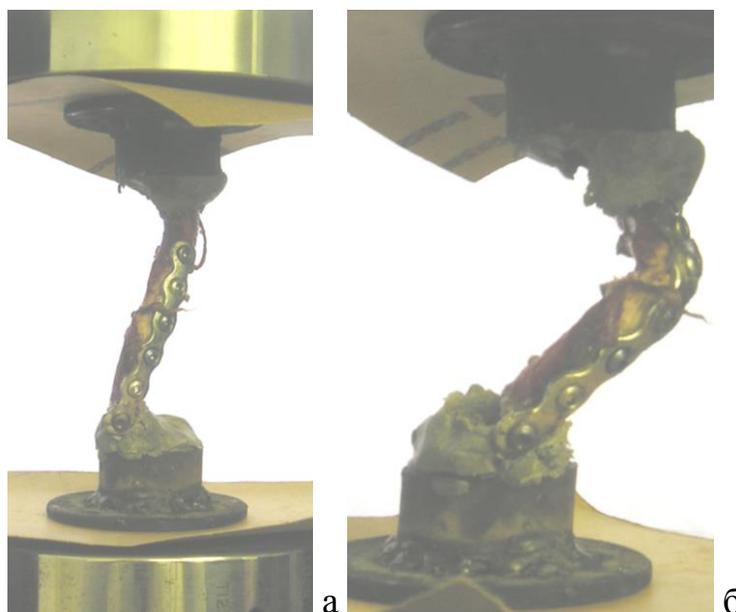


Рисунок 4.11 - Исследование прочностных свойств образца с реконструктивной пластиной (толщина 1,2мм); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания

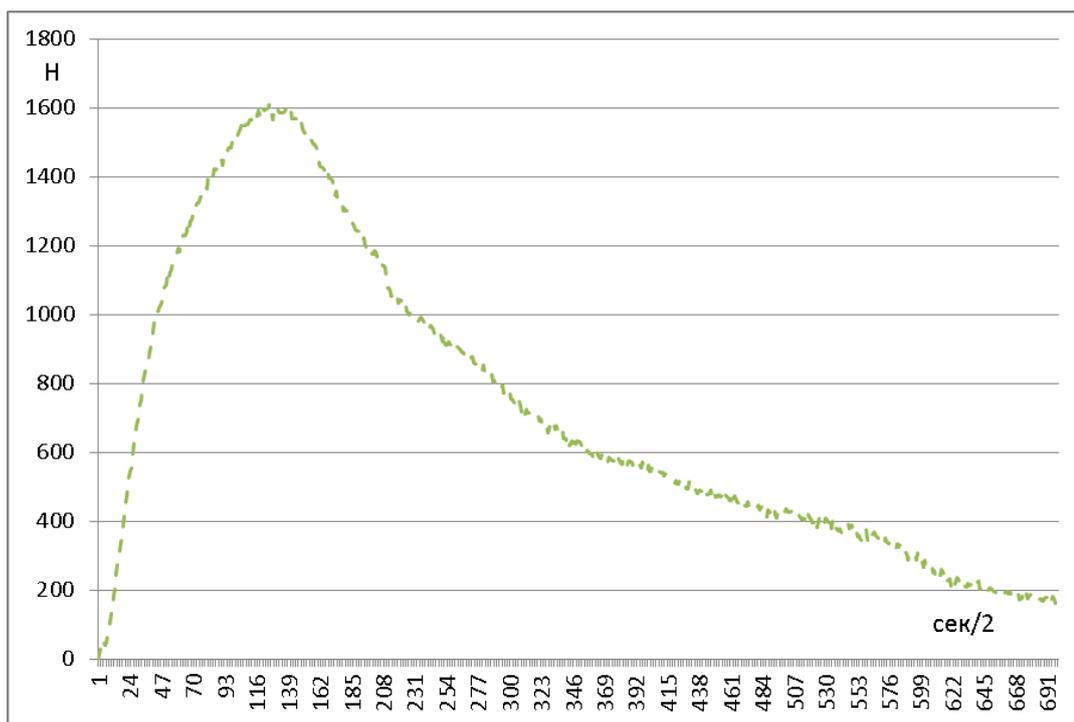


Рисунок 4.12 - График разрушения образца с реконструктивной пластиной (толщина 1,2мм)

3)Образец с реконструктивной пластиной (толщина 2,3 мм).

Пик нагрузки на 200 секунде испытания - 1823 Н, затем постепенное снижение усилия до 95 Н на 852 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.13, 4.14).

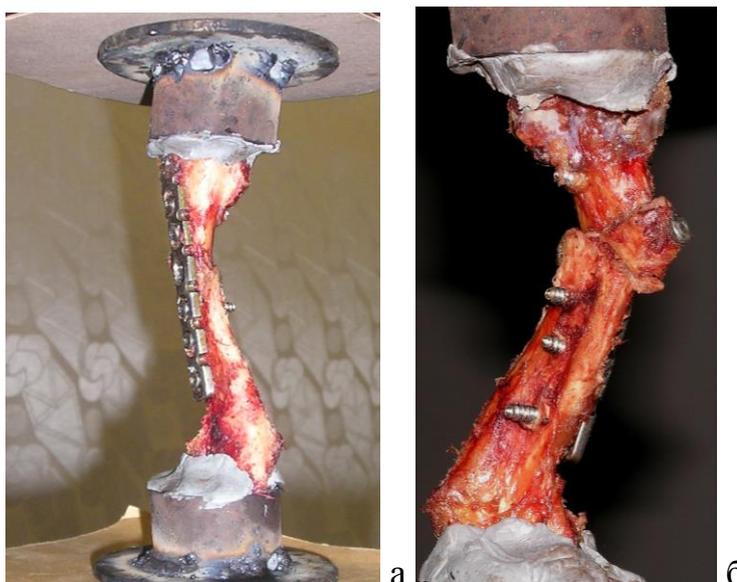


Рисунок 4.13 - Исследование прочностных свойств образца с реконструктивной пластиной (толщина 2,3мм); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания

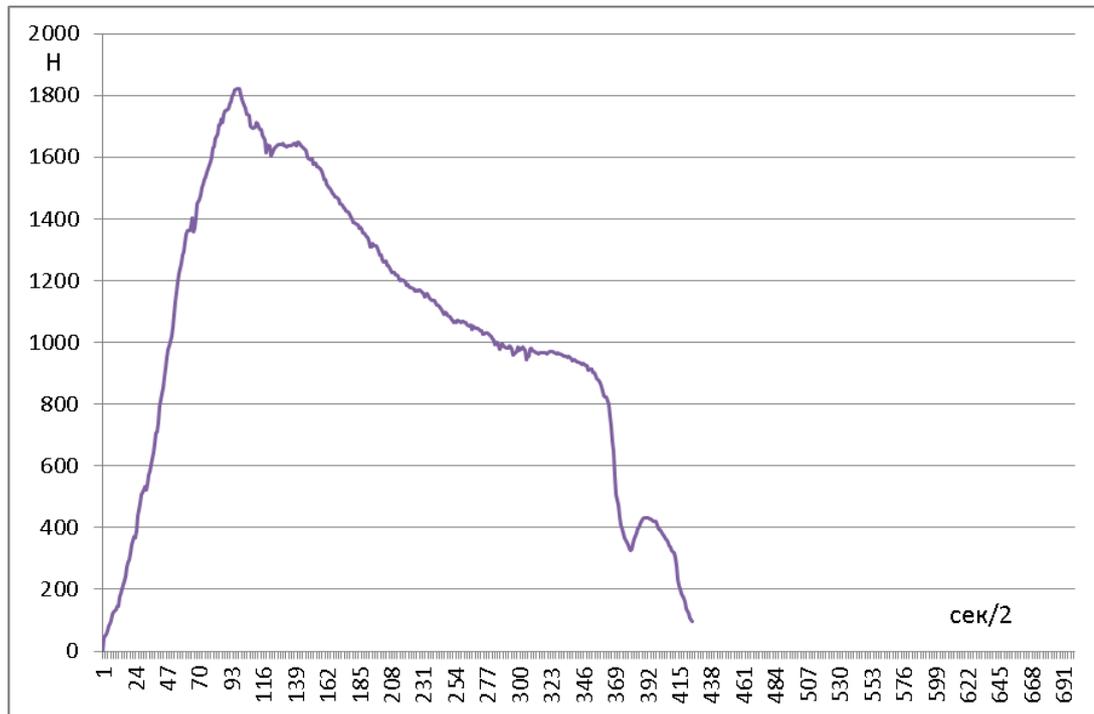


Рисунок 4.14 - График разрушения образца с реконструктивной пластиной (толщина 2,3мм)

#### 4)Образец с блокируемым стержнем оригинальной конструкции

Пик нагрузки на 342 секунде испытания - 2447 Н, затем постепенное снижение усилия до 848 Н на 682 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.15, 4.16).



Рисунок 4.15 - Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированной блокируемым стержнем оригинальной конструкции; а - вид образца до испытания, б - вид образца после стенового испытания.

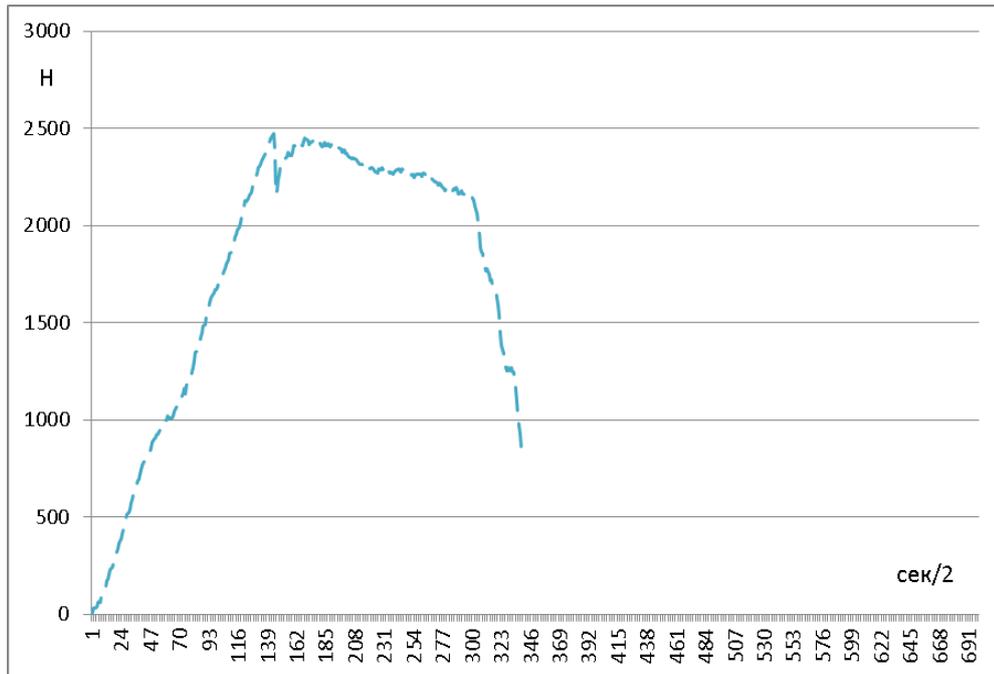


Рисунок 4.16 - График разрушения образца ключицы, синтезированной блокируемым стержнем оригинальной конструкции

5) Образец ключицы, синтезированный пластиной с угловой стабильностью.

Пик нагрузки на 448 секунде испытания - 2461 Н, затем постепенное снижение усилия до 362 Н на 1244 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.17, 4.18).



Рисунок 4.17 - Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированной пластиной с угловой стабильностью; а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания.

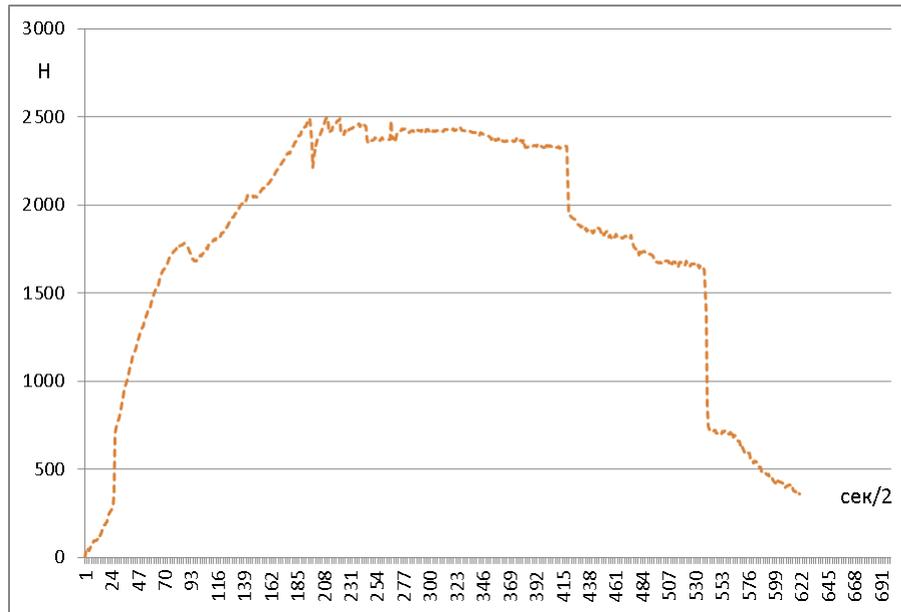


Рисунок 4.18 - График разрушения образца ключицы, синтезированной пластиной с угловой стабильностью

7) Образец ключицы, синтезированный внутрикостным стержнем без блокирования (2 x 3 мм).

Пик нагрузки на 782 секунде испытания - 1075 Н, затем постепенное снижение усилия до 451 Н на 978 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.19, 4.20).



Рисунок 4.19 - Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированной внутрикостным стержнем без блокирования (2x3 мм); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания.

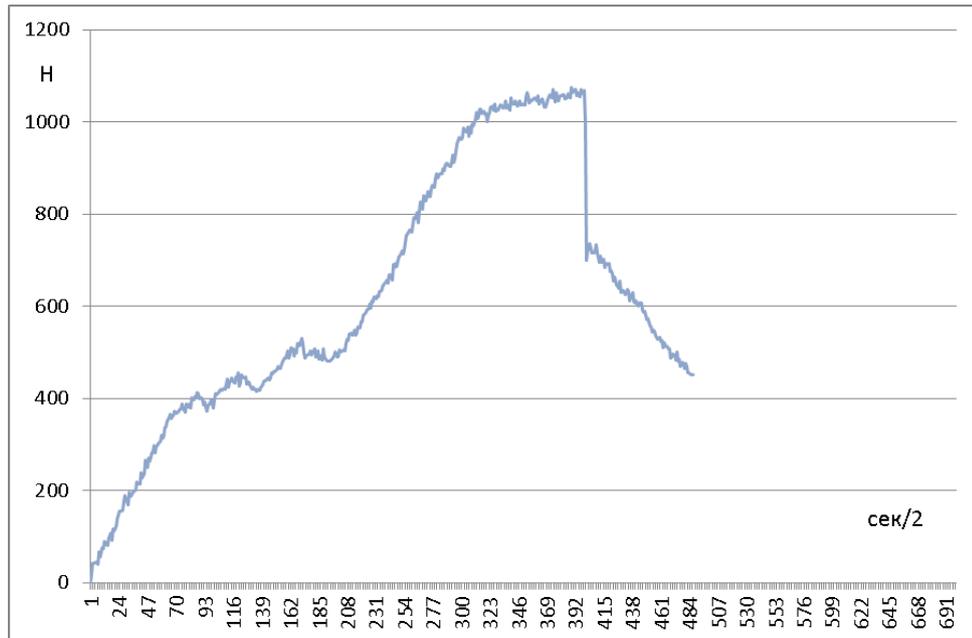


Рисунок 4.20 - График разрушения образца ключицы, синтезированной внутрикостным стержнем без блокирования (2x3 мм)

7) Образец ключицы, синтезированный внутрикостным стержнем без блокирования (3.5 x 4,5 мм). Пик нагрузки на 510 секунде испытания - 1356 Н, затем постепенное снижение усилия до 146 Н на 1046 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.21, 4.22).

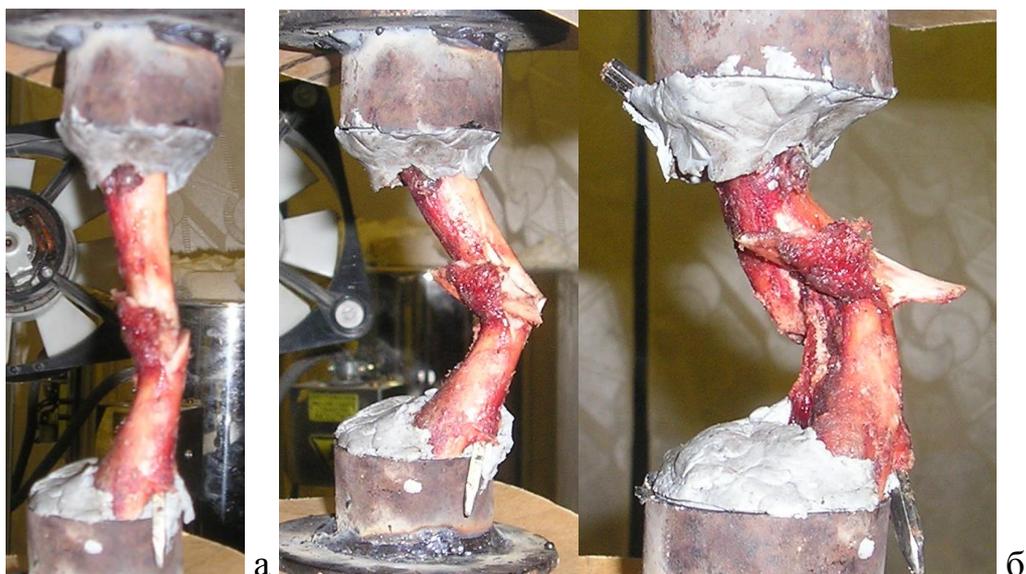


Рисунок 4.21 - Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированной внутрикостным стержнем без блокирования (3,5x4,5 мм); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания.



Рисунок 4.22 - График разрушения образца ключицы, синтезированной внутрикостным стержнем без блокирования (3,5x4,5 мм)

### Исследование прочностных свойств во фронтальной и сагиттальной плоскостях

1) Образец с блокируемым стержнем оригинальной конструкции (рисунок 4.23)



Рисунок 4.23 - Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированной блокируемым стержнем оригинальной конструкции при нагрузке в сагиттальной плоскости (спереди-назад); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания.

Пик нагрузки в сагиттальной плоскости на 436 секунде испытания - 1126 Н, затем резкое снижение усилия до 365 Н на 576 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (рисунок 4.24).

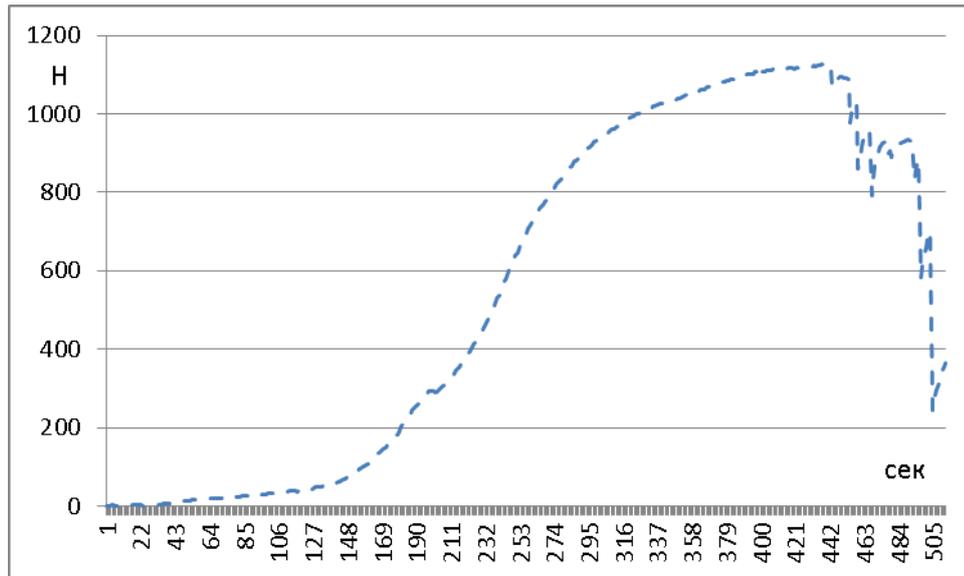


Рисунок 4.24 - График разрушения образца ключицы, синтезированной блокируемым стержнем оригинальной конструкции при нагрузке в сагиттальной плоскости (спереди-назад).

Пик нагрузки во фронтальной плоскости (сверху-вниз) на 436 секунде испытания - 673 Н, затем постепенное снижение усилия с последующим резким падением до 0 Н на 379 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.25).

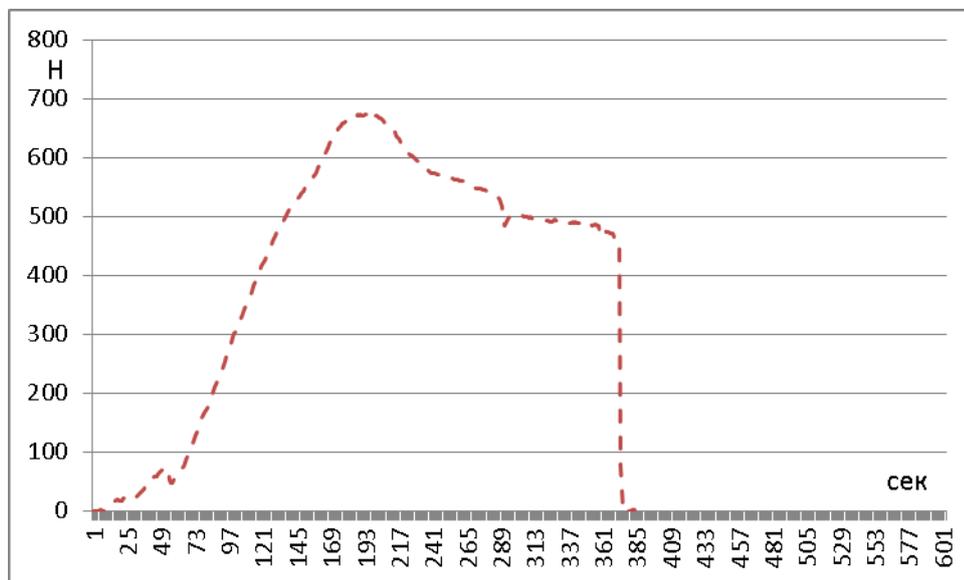


Рисунок 4.25 - График разрушения образца ключицы, синтезированной блокируемым стержнем оригинальной конструкции при нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз).

## 2) Образец с прямой пластиной для остеосинтеза ключицы (рисунок 4.26)



Рисунок 4.26 -Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированного прямой пластиной при нагрузке в сагиттальной плоскости (спереди-назад); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания.

Пик нагрузки в сагиттальной плоскости на 173 секунде испытания - 981 Н, затем постепенное снижение усилия до 105 Н на 436 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (рисунок 4.27).

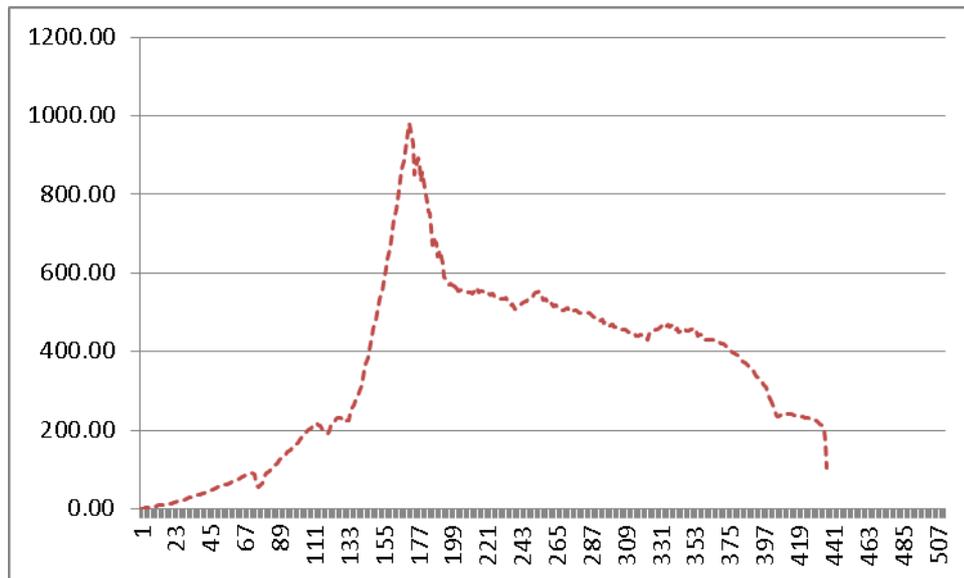


Рисунок 4.27 - График разрушения образца ключицы, синтезированного прямой пластиной при нагрузке в сагиттальной плоскости (спереди-назад).

Пик нагрузки во фронтальной плоскости на 317 секунде испытания - 607 Н, затем волнообразное снижение усилия до 385 Н на 507 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.28).

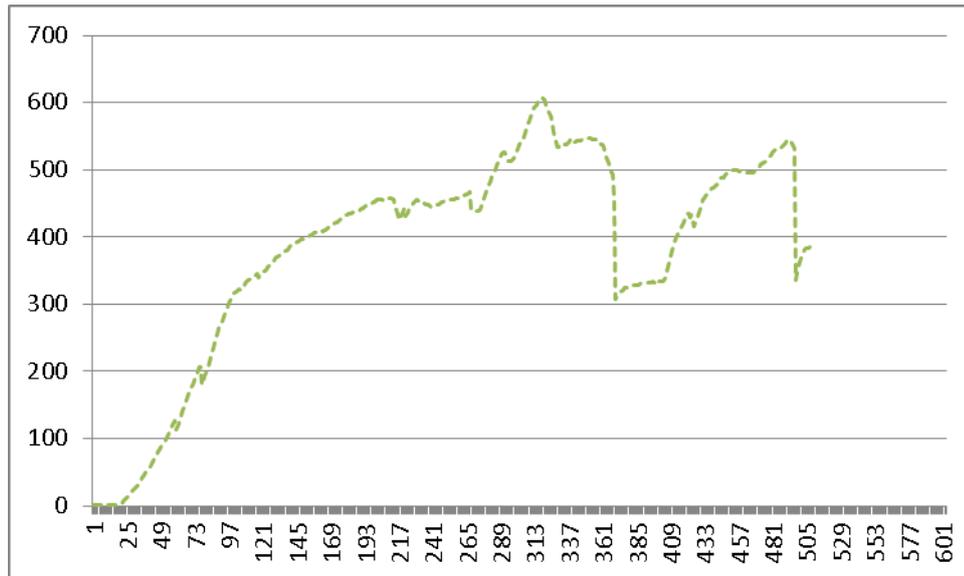


Рисунок 4.28- График разрушения образца ключицы, синтезированного прямой пластиной при нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз).

3) Образец ключицы, синтезированный реконструктивной пластиной (толщина 2,3мм) (рисунок 4.29).



Рисунок 4.29 - Исследование прочностных свойств образца ключицы, синтезированного реконструктивной пластиной (толщина 2,3мм) при нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз); а - вид образца до испытания, б - вид образца после стендового испытания.

Пик нагрузки во фронтальной плоскости на 157 секунде испытания - 840 Н, затем постепенное снижение с последующим резким падением усилия

до 38 Н на 289 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (Рисунок 4.30).

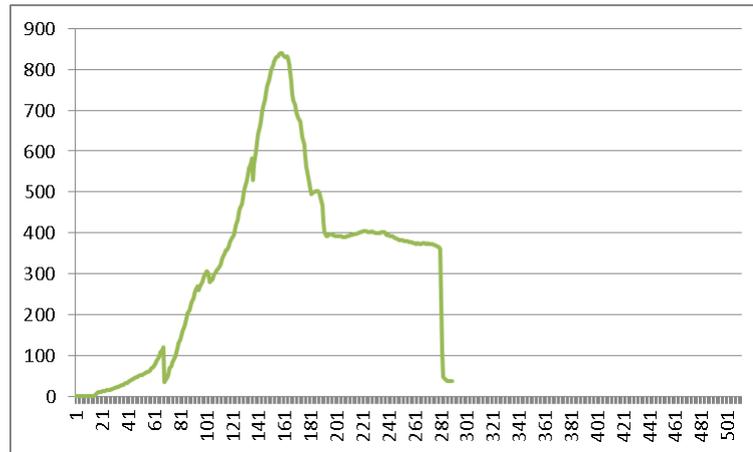


Рисунок 4.30 - График разрушения образца ключицы, синтезированного оригинальным стержнем при нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз)

Пик нагрузки во фронтальной плоскости на 275 секунде испытания - 199 Н, затем постепенное волнообразное снижение усилия до 144 Н на 574 с. Отмечалась межфрагментарная нестабильность в области перелома (рисунок 4.31).

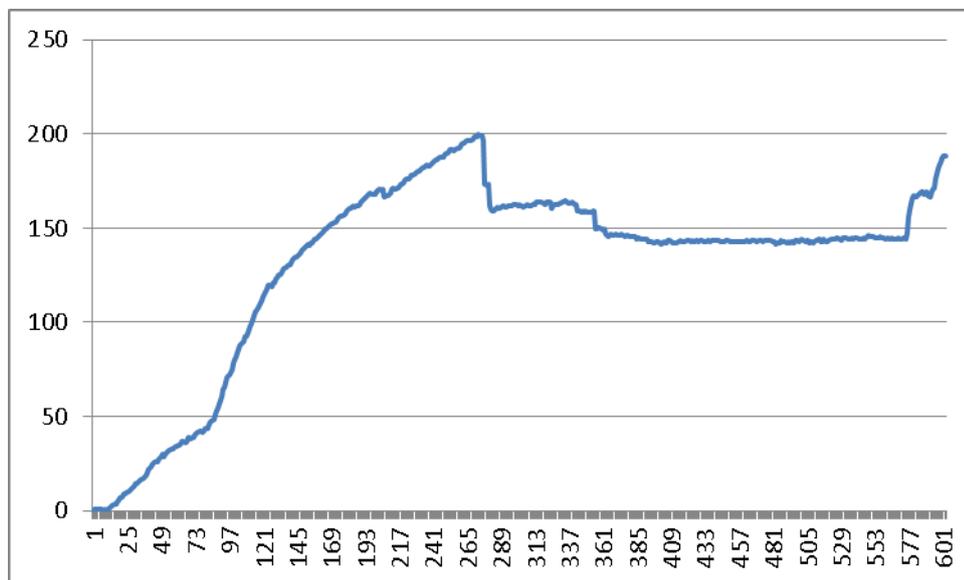


Рисунок 4.31 - График разрушения образца ключицы, синтезированного реконструктивной пластиной при нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз).

## Результаты

Стендовые испытания систем кость-имплантат-кость, а также интактной кости, обнаружили, что при нагрузке в горизонтальной плоскости по оси ключицы максимальную пиковую прочность продемонстрировала группа интактных образцов (группа 1), которые разрушились при нагрузке равной в среднем 2600 Н. При этом исследуемые стандартные технологии с использованием сертифицированных имплантатов по максимальным пиковым значениям сопротивления нагрузке показали следующие результаты (Рисунок 4.32):

группа 2 (реконструктивная пластина 1,2 мм) – 1520 Н,

группа 3 (реконструктивная пластина 2,3 мм) – 1730 Н,

группа 4 (стержень оригинальной конструкции) – 2450 Н,

группа 5 (пластина LCP) – 2480 Н,

группа 6 (внутрикостный стержень без блокирования 2 x 3 мм) – 1010 Н,

группа 7 (внутрикостный стержень без блокирования 3,5x4,5 мм) – 1260 Н.

Наибольшую временную резистентность продемонстрировали образцы, синтезированные на костной пластине LCP, оставшиеся стабильными на 817 секунде эксперимента. Меньшую временную сопротивляемость продемонстрировали образцы, фиксированные реконструктивной пластиной и оригинальным стержнем. Самые низкие показатели у образцов, синтезированных внутрикостным стержнем без блокирования.

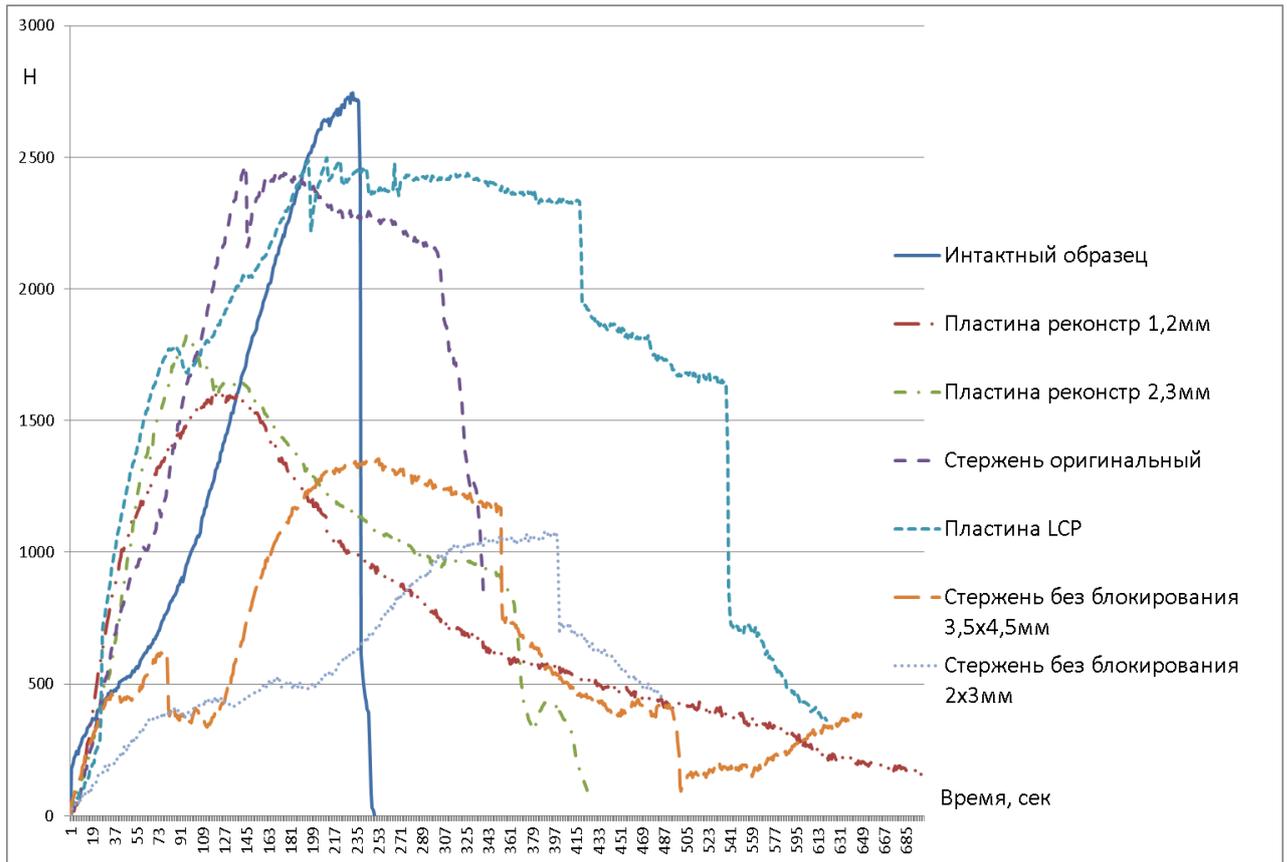


Рисунок 4.32 - Прочностные характеристики системы кость-имплантат-кость в условиях остеосинтеза перелома ключицы в средней трети при нагрузке в горизонтальной плоскости (по оси ключицы)

При нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз) максимальную пиковую прочность продемонстрировала группа с интактным образцом (788 Н). Прочностные характеристики образцов с оригинальным стержнем достигли более высокой пиковой прочности (673 Н) по сравнению с образцами, фиксированными прямой пластиной (607 Н) и реконструктивной пластиной (188 Н). Наибольшую временную резистентность продемонстрировали образцы с накостным остеосинтезом в отличие от образцов с оригинальным стержнем (Рисунок 4.33).

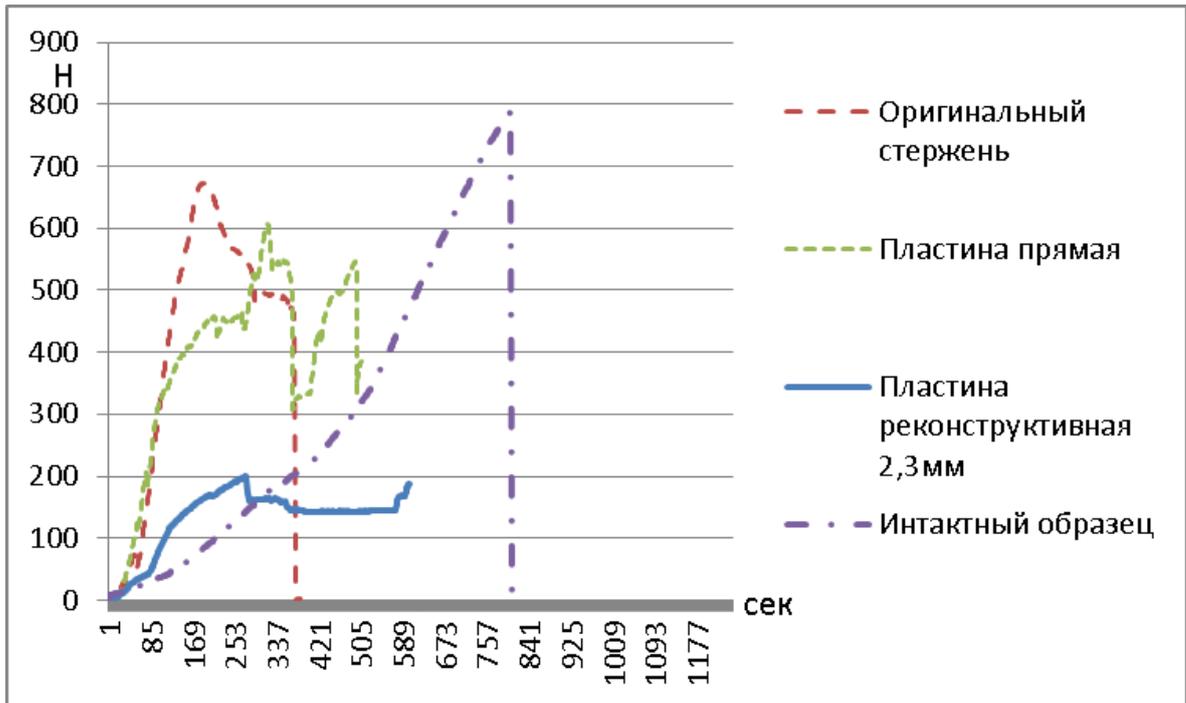


Рисунок 4.33 - Прочностные характеристики системы кость-имплантат-кость в условиях остеосинтеза перелома ключицы в средней трети при нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз)

При нагрузке в сагиттальной плоскости (спереди-назад) максимальную пиковую прочность продемонстрировала группа образцов с интактной ключицей (1498 Н). Среди образцов, фиксированных различными имплантатами, наиболее высокая пиковая прочность отмечалась в образцах с оригинальным стержнем (1126 Н), в отличие от прямой пластины (981 Н) и реконструктивной пластины (840 Н). Временная резистентность нагрузке была выше при интрамедуллярном остеосинтезе в отличие от образцов с накостным остеосинтезом (Рисунок 4.34).

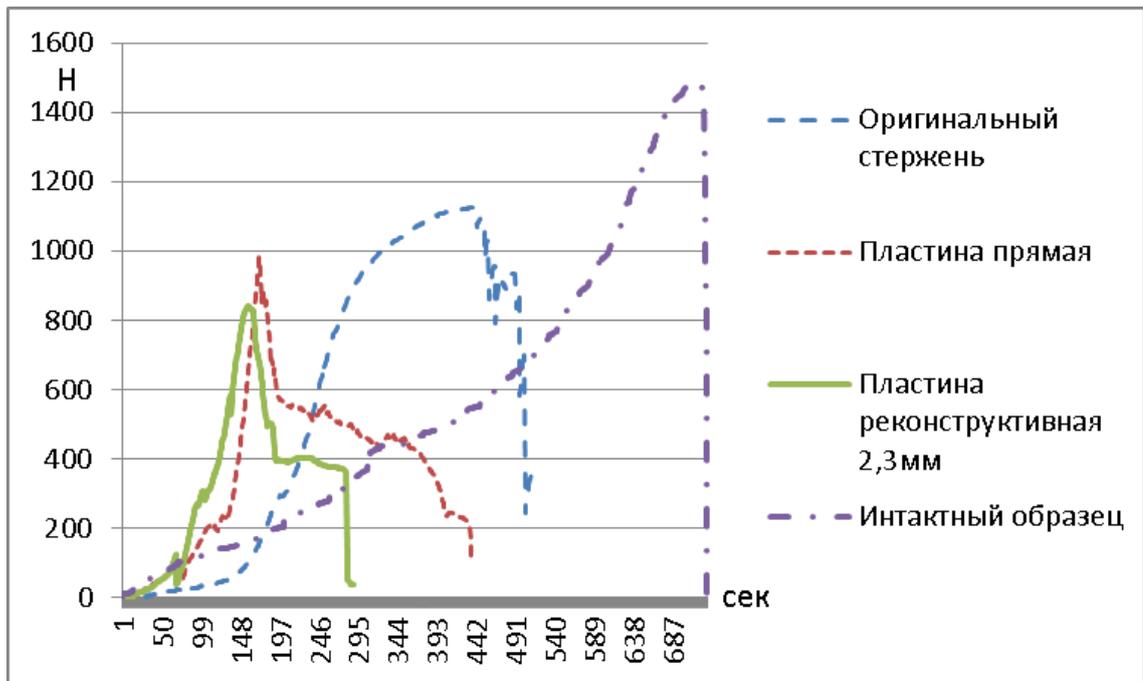


Рисунок 4.34 - Прочностные характеристики системы кость-имплантат-кость в условиях остеосинтеза перелома ключицы в средней трети при нагрузке в сагиттальной плоскости (спереди-назад).

Наиболее частой локализацией точки несостоятельности системы были зона перелома в образцах, синтезированных имплантатами. У одного из образцов выявлена чрезфиксаторная дислокация при смещенном силовом шунтировании. В интактных образцах отмечалось повреждение ключицы в средней трети (таблица 4.2).

Таблица 4.2

Локализация точек несостоятельности систем кость-имплантат-кость

Технологии	Смещение по линии перелома	Чрезфиксаторная дислокация
Осевое силовое шунтирование	100%	-
Смещенное силовое шунтирование	89%	11%

Отмечались закономерные изменения кривых, отражающих характеристики сопротивления изучаемых систем. В интактных образцах, постепенное возрастание нагрузки завершалось переломом ключицы в средней трети и одномоментным падением напряжения до нуля. В образцах, синтезированных имплантатами, закономерным было постепенное, ступенчатое нарастание и падение напряжения.

Стендовые испытания системы кость-имплантат-кость в условиях остеосинтеза ключицы, установили, что исследуемые технологии не позволяют достичь механической прочности интактной кости. Оценка характера поведения систем в условиях осевой нагрузки, выявила, что одномоментное падение напряжения отмечалось у интактных образцов, а кривые систем кость-имплантат-кость демонстрировали постепенное падение напряжения.

Исследование устойчивости к осевой и угловой нагрузкам системы кость-имплантат-кость позволило установить, что изученные системы позволяют обеспечить устойчивость в диапазоне от 75,17% до 95,38% прочности в сравнении с интактными образцами. Нагрузочные характеристики отражают деформацию системы кость-имплантат-кость на уровне перелома и в последующем зависят от эласто-упругих свойств имплантата.

Сравнительный анализ пиковых значений сопротивления осевой нагрузке выявил сопоставимые показатели между технологиями на костного остеосинтеза и оригинального блокируемого стержня. Максимальную длительную устойчивость во временном разложении продемонстрировали образцы с пластиной LCP, которые превосходили другие образцы по временной резистентности. Оптимальный диаметр стержня для внутрикостного остеосинтеза ключицы при переломах в средней трети должен быть не менее 3,5мм.

Проведение стендовых испытаний в сагиттальной плоскости (спереди-назад), выявило, что образцы синтезированным оригинальным стержнем

превзошли другие системы по величине нагрузки и времени сопротивления. При нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз) более высокую резистентность продемонстрировали образцы с оригинальным блокируемым стержнем.

Разработанная конструкция может быть рекомендована как метод выбора для остеосинтеза переломов ключицы в средней трети, т.к. продемонстрировала сопоставимые прочностные характеристики в сравнении с другими системами.

Проведенная оценка стартовых характеристик устойчивости системы кость-имплантат-кость при использовании изученных технологий остеосинтеза ключицы при переломах в средней трети позволила определить критические точки несостоятельности системы и раскрывает перспективу совершенствования эксплуатационных качеств имплантата.

#### **4.3 Лечение пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети по технологии осевого шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента и ранней функциональной реабилитации**

Исследование возможностей технологии осевого типа шунтирования ключицы, приближенного к физиологическому вектору сегмента позволяет использовать данную технологию в ортопедической практике. Остеосинтез стержнем оригинальной конструкции в большинстве случаев проводился малоинвазивно. Выполнялся разрез в области грудинного конца ключицы длиной 2,5-3см, проводилась закрытая репозиция отломков, далее формировался канал диаметром 6мм, через который внутрикостно вводился стержень по оси центрального и периферического отломков, до появления плоского расширения конца стержня на кости, а резьбового конца стержня отверстия на задней поверхности ключицы. При необходимости расширение конца стержня моделируется для более плотного контакта с костью. Накладку с трубкой надевают на вышедший на заднюю поверхность

ключицы резьбовой конец стержня и погружают до контакта накладки с костью, при необходимости накладку моделируют для плотного контакта с костью. На резьбовой конец стержня навинчивают гайку до достижения компрессии отломков. После этого проводят блокирование стержня проведением стандартных винтов диаметром 2,5 мм в плоское расширение на грудинном конце спереди назад и в накладку с трубкой сзади наперед. Убедившись в правильной репозиции и надежности фиксации, раны послойно зашивали.

Значение совершенной репозиции и стабилизации отломков при переломе не ограничивается только восстановлением формы кости и созданием, таким образом, наилучших условий для консолидации перелома и благоприятного функционального исхода. Несомненна роль лечебной иммобилизации в устранении посттравматических изменений в мягких тканях, восстановлении их нормальной трофики. Наконец, качество остеосинтеза определяет допустимую функциональную нагрузку на конечность до завершения процесса консолидации отломков.

Функциональная реабилитация пациентов с травматическими поражениями плечевого пояса стала неотъемлемой частью современного лечения, однако классические принципы ортопедии зачастую не соблюдаются для пациентов с повреждениями ключицы. При проведении реабилитационных мероприятий не учитываются возможности современных методик реабилитации, значимость которых на сегодняшний день недооценена. В связи с этим требуется проведение активного восстановительного лечения по классическим канонам ортопедии для лиц с повреждениями плечевого пояса с учетом современных возможностей реабилитации. Это оптимизирует нагрузку на оперированную ключицу, что снижает риск развития различных осложнений.

В послеоперационном периоде проводилась фиксация оперированной верхней конечности в отводящей шине в среднефизиологическом положении плечевого пояса: отведение плеча  $45-60^{\circ}$ , сгибание плеча  $20-30^{\circ}$ , среднее

положение между наружной и внутренней ротацией в течение 4-5 недель. (Рисунок 4.35). Данная иммобилизация использовалась при вертикальном положении пациента. В горизонтальном положении отводящая шина может быть заменена на повязку Дезо в удобном положении верхней конечности для пациента.

Лечебная физкультура проводилась в 3 этапа. На 1 этапе (4-5 недель) в раннем послеоперационном периоде ЛФК выполнялась при фиксации верхней конечности в отводящей шине в среднефизиологическом положении и включала в себя активные упражнения для кистевого и локтевого суставов и пассивные упражнения для плечевого сустава. На 2 этапе (следующие 3-4 недели) лечебная физкультура дополнялась упражнениями для плечевого сустава в активном режиме в безболезненном диапазоне с постепенным увеличением нагрузок. Для оптимизации реабилитации на первых двух этапах использовался аппарат для постоянного пассивного движения (Рисунок 4.36, 4.37, 4.38).



Рисунок 4.35 -Иммобилизация в отводящей шине в раннем послеоперационном периоде.



Рисунок 4.36 - Лечебная физкультура пациентов после остеосинтеза ключицы, упражнения для суставов верхней конечности в среднефизиологическом положении плечевого пояса.



Рисунок 4.37 - Функциональная реабилитация пациентов после остеосинтеза ключицы с использованием аппарата постоянного пассивного движения.

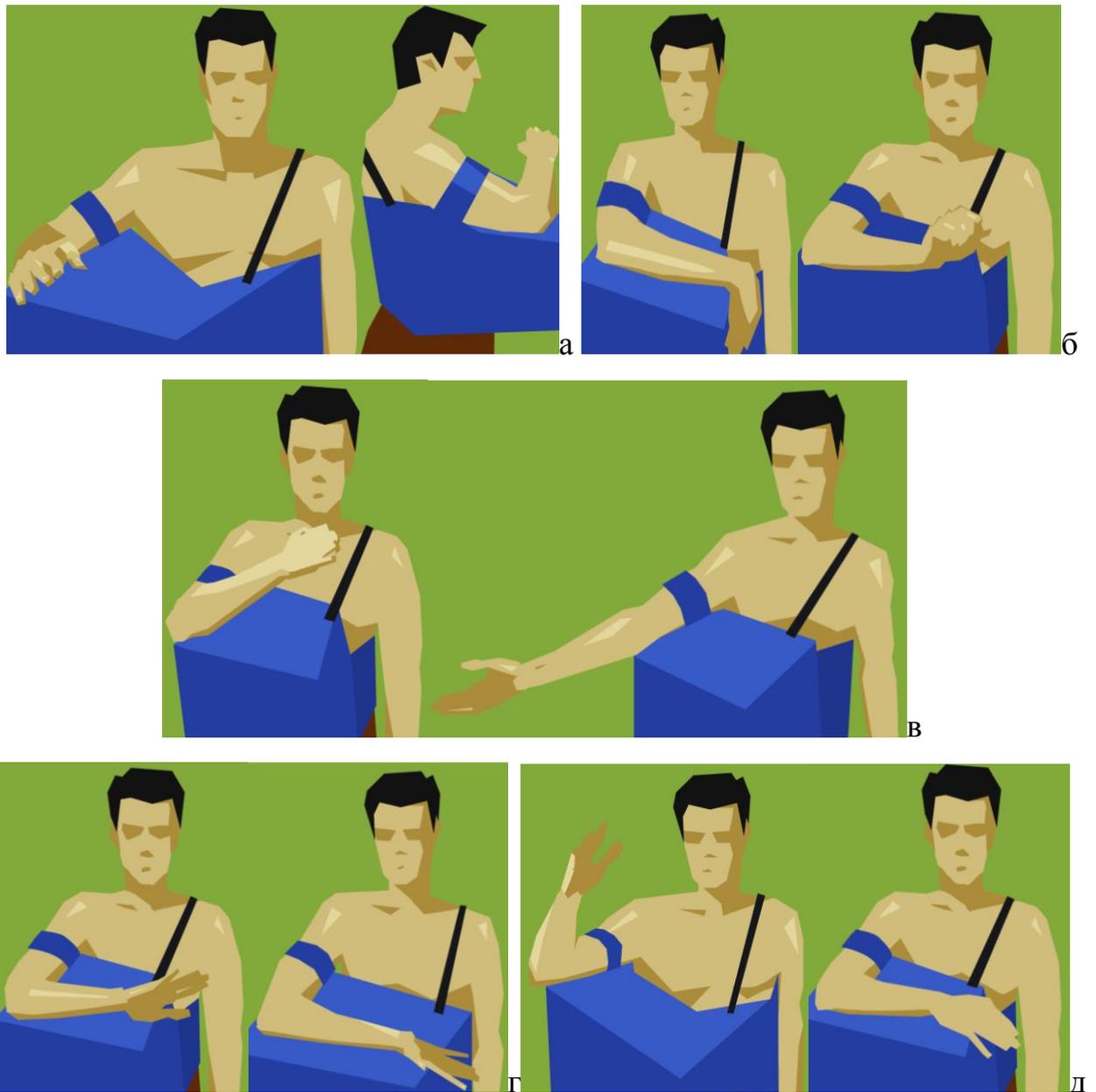


Рисунок 4.38 - Лечебная физкультура пациентов после остеосинтеза ключицы: упражнения для суставов верхней конечности в среднефизиологическом положении плечевого пояса (а – исходное положение; б – сгибание-разгибание в кистевом суставе; в – сгибание-разгибание в локтевом суставе; г – пронация-супинация в луче-локтевом суставе; д – наружная и внутренняя ротация в плечевом суставе)

На третьем этапе продолжали активные физические упражнения, затрагивающие плечевой пояс, которые дополнялись силовыми нагрузками для мышц верхних конечностей с использованием легких гантелей (Рисунок 4.39).



Рисунок 4.39 - Лечебная физкультура пациентов после остеосинтеза ключицы, упражнения для суставов плечевого пояса на 3 этапе реабилитации.

### **Схема упражнений для пациентов после остеосинтеза ключицы**

#### **1 этап**

В дооперационном периоде пациенту рекомендуют выполнение упражнений для пальцев кисти и кистевого сустава. После проведенного остеосинтеза, начиная со дня операции пациент начинает выполнять упражнения для пальцев рук, лучезапястного сустава, сгибание и разгибание руки в локтевом суставе, а также супинацию и пронацию предплечья в безболезненном диапазоне.

Комплекс специальных упражнений после остеосинтеза ключицы на первом этапе:

1. Пальцы на поврежденной стороне развести в стороны, и соединить. Выполнить 20-25 раз.

2. Пальцы сжать в кулак, при этом первый палец должен быть сверху. Выпрямить пальцы, затем снова согнуть, при этом первый палец должен быть внутри кулака. Повторить 20-25 раз.

3. Конец каждого пальца по очереди соединить с концом большого пальца, чтобы получилось кольцо. Выполнить по 20-25 раз каждым пальцем.

4. Выполнить щелчок каждым пальцем. Повторить каждым пальцем по 20-25 раз.

5. Выполнять круговые движения каждым пальцем по часовой и против часовой стрелки. Повторить по 20-25 раз.

6. Согнуть ногтевые и средние фаланги всех пальцев не сгибая в пястно-фаланговых суставах. Повторить каждым пальцем по 20-25 раз.

7. Выполнить поочередно тыльное и ладонное сгибание в кистевом суставе на поврежденной стороне. Повторить 20-25 раз.

8. Выполнить поочередно радиальное и ульнарное отведение кисти. Повторить 20-25 раз.

9. Выполнить круговые движения в кистевом суставе по часовой и против часовой стрелки. Повторить по 20-25 раз в каждую сторону.

10. Выполнить супинацию и пронацию предплечья. Повторить 20-25 раз.

11. Выполнить сгибание и разгибание в локтевом суставе. Повторить 20-25 раз.

Через 3 недели комплекс дополняется упражнения для плечевого сустава в пассивном режиме

12. Выполнить пассивное отведение плеча до  $90^{\circ}$  и приведение до  $0^{\circ}$ . Повторить 20-25 раз.

13. Выполнить пассивное сгибание плеча до  $90^{\circ}$  и разгибание до  $10^{\circ}$ . Повторить 20-25 раз.

14. Выполнить пассивную наружную и внутреннюю ротацию плеча до  $45^{\circ}$ . Повторить 20-25 раз.

15. Наклониться вперед и выполнить маятникообразные движения в плечевом суставе, вперед-назад, кнаружи-внутрь. Повторить по 20-25 раз.

Все приведенные упражнения следует выполнять в медленном темпе, 2-3 раза в день. Также необходимо выполнять упражнения для противоположной неповрежденной верхней конечности.

## **2 этап**

На втором этапе ежедневно выполняются все упражнения из первого этапа. Дополнительно выполняются силовые упражнения с эспандером для

кисти и упражнения для плечевого сустава в активном режиме в безболезненном диапазоне с постепенным увеличением нагрузок.

Дополнительные упражнения на втором этапе для плечевого пояса:

1. Выполнить сжатие эспандера пальцами кисти. Повторить 20-25 раз.

2. Выполнить поднятие надплечий («пожимание плечами») Выполнить 20-25 раз.

3. Выполнять круговые движения в плечевых суставах с согнутыми локтями по часовой и против часовой стрелки. Повторить по 20-25 раз.

4. Поднять руки вперед и вверх, затем вернуться в исходное положение. Повторить 20-25 раз.

5. Поднять руки в стороны и вверх и опустить. Повторить 20-25 раз.

### **3 этап**

На третьем этапе продолжали активные физические упражнения, затрагивающие плечевой пояс, которые дополнялись силовыми нагрузками для мышц верхних конечностей с использованием легких гантелей (1-2кг).

1. Выполнять маховые движения прямыми руками – поочередно правой и левой рукой. Повторить 20-25 раз.

2. Туловище наклонить вперед и делать маховые движения руками. Выполнить 20-25 раз.

3. Выполнять маховые движения руками в стороны. Повторить 20-25 раз.

4. Выполнить поочередно тыльное и ладонное сгибание в кистевом суставе с гантелей в руке. Повторить 20-25 раз.

5. Выполнить супинацию и пронацию предплечья с гантелей. Повторить 20-25 раз.

6. Выполнить сгибание и разгибание в локтевом суставе с гантелей. Повторить 20-25 раз.

7. Поднять правую руку с гантелей и опустить, затем поднять левую руку с гантелей и опустить. Повторить 20-25 раз

8. Выполнить круговые движения руками по часовой и против часовой стрелки. Повторить по 20-25 раз в каждую сторону.

Комплекс упражнений необходимо выполнять в среднем темпе 2-3 раза в день. Контроль динамики эффективности реабилитации и коррекция выполнения упражнений проводились на основе ортопедического осмотра, инструментальных методов исследования по которым определялся последующий прогноз и исход лечения.

Эффективность технологии оперативного лечения при повреждениях ключицы основывается не только на соблюдении принципов остеосинтеза, но и от методики функциональной реабилитации, которая должна проводиться на основе биомеханического подхода по классическим принципам ортопедии. Сочетание оптимального по прочностным характеристикам имплантата, установленного по физиологическому вектору сегмента и адекватной функциональной реабилитации позволяет достичь наилучших результатов лечения.

## ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ КЛЮЧИЦЫ В СРЕДНЕЙ ТРЕТИ

Современная доктрина лечения нестабильных переломов средней трети ключицы требует немедленного восстановления структурно-функциональных стереотипов на основе стабильно-функционального остеосинтеза и программы реабилитации. Этому служит использование малоинвазивного остеосинтеза, сохранения кровоснабжения и иннервации, а также лечебной физкультуры, проводящейся из стартовой нулевой точки с постепенным увеличением амплитуды движений и силовых нагрузок.

Анализ результатов клинического исследования выявил достоверное преимущество результатов в основной группе по шкале DASH ( $p=0,031$ ), через 3 месяца после операции (Рисунок 5.1) Функциональное состояние пациентов через 3 месяца после оперативного лечения в основной группе составило  $25,85 \pm 5,17$  баллов, в группе сравнения  $28,09 \pm 5,24$  балла.

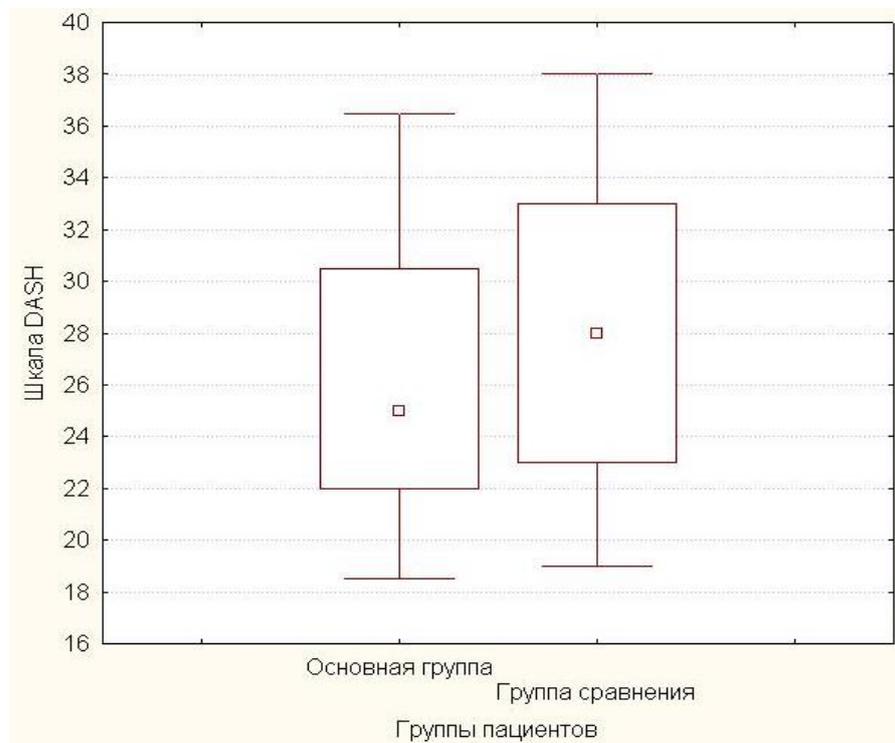


Рисунок 5.1 - Сравнительный анализ функционального состояния пациентов по шкале DASH через 3 месяца после операции в группе исследования и группе сравнения.

Функциональное состояние пациентов через 6 месяцев в основной группе по шкале DASH составило  $23,81 \pm 5,1$ , что было достоверно лучше, чем в группе сравнения –  $25,91 \pm 4,91$ , ( $p=0,035$ ), (Рисунок 5.2).

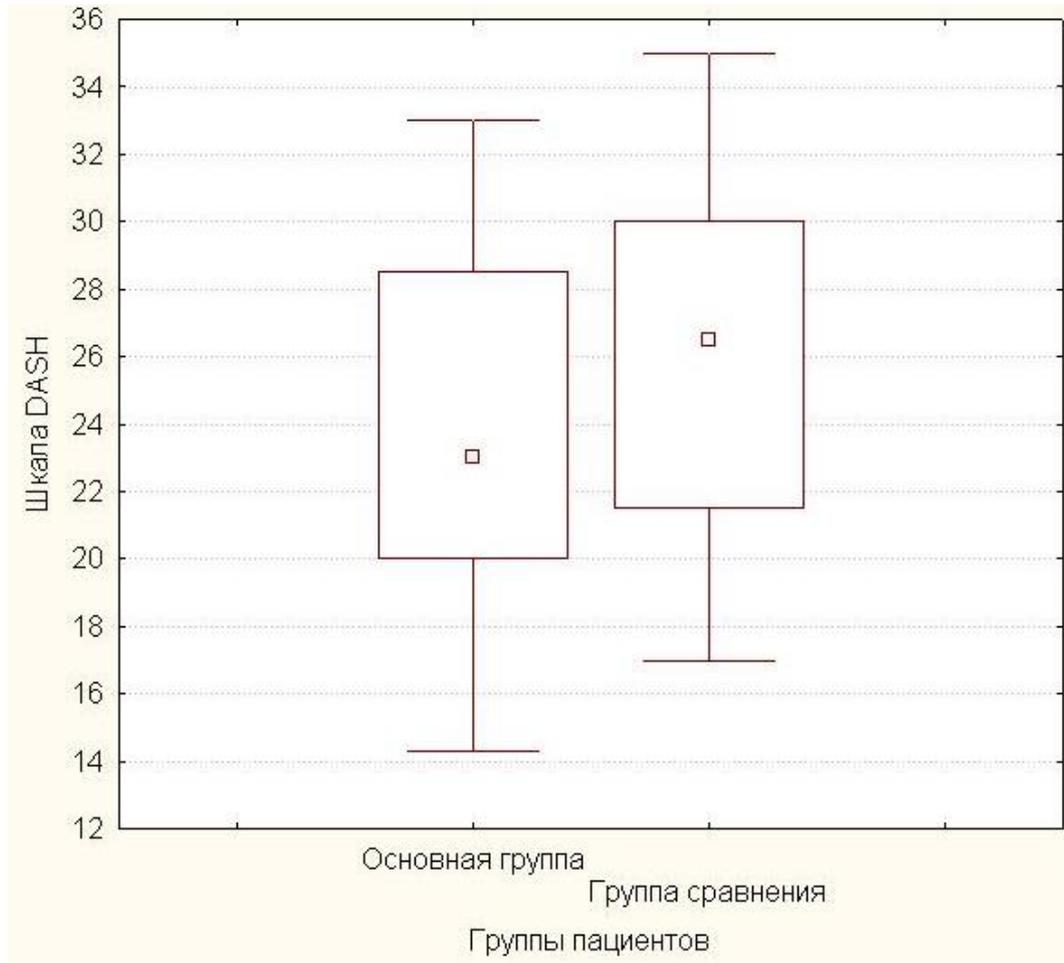


Рисунок 5.2 - Сравнительный анализ функционального состояния пациентов по шкале DASH через 6 месяцев после операции в группе исследования и группе сравнения.

Достоверное преимущество результатов в основной группе по шкале DASH ( $p=0,038$ ), сохранялось через 12 месяцев после операции. В основной группе средний балл составил  $22,1 \pm 5,16$  балла, в группе сравнения –  $24,25 \pm 5,22$  балла (Рисунок 5.3).

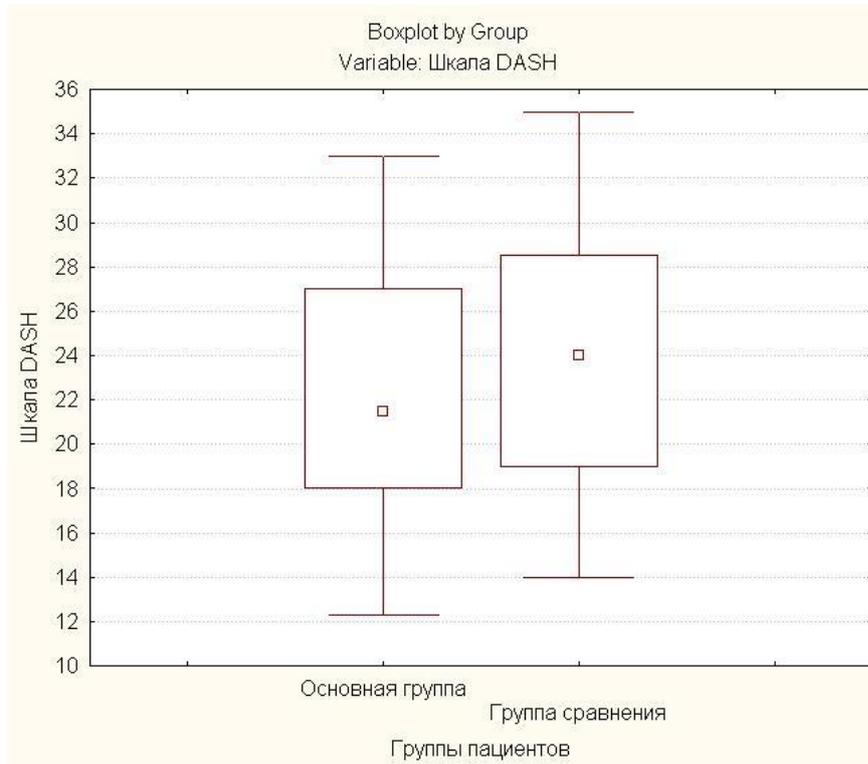


Рисунок 5.3 - Сравнительный анализ функционального состояния верхней конечности по шкале DASH через 1 год после операции в группе исследования и группе сравнения.

Анализ результатов по шкале ВАШ не выявил достоверных различий между группами через 1 год после оперативного лечения –  $0,79 \pm 0,09$  в основной группе и  $0,84 \pm 0,12$  в группе сравнения ( $p > 0,05$ ).

Клинический пример. ♂, 33 года, травма бытовая. Диагноз при поступлении: закрытый перелом средней трети левой ключицы со смещением отломков. На 4 сутки после поступления выполнен остеосинтез ключицы блокируемым стержнем оригинальной конструкции. Лечебная физкультура начата на следующие сутки после операции. Трудоспособность восстановлена через 2 месяца после травмы. Функциональное состояние через 1 год после операции соответствовало 14,3 баллам по шкале DASH (Рисунок 5.4).

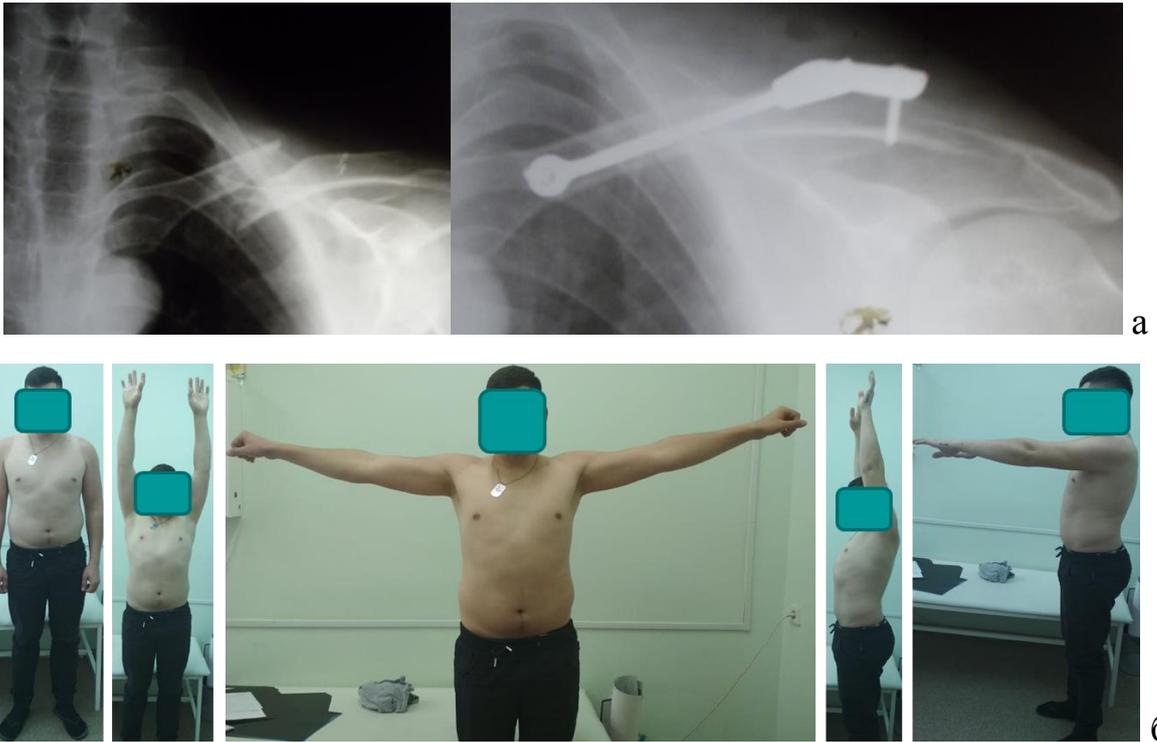


Рисунок 5.4 - ♂, 33 года. Диагноз: закрытый перелом средней трети левой ключицы со смещением отломков; а - рентгенограммы при поступлении и после оперативного лечения; б – функциональное состояние пациента через 1 год после оперативного лечения.

Клинический пример. ♂, 43 года, травма бытовая, по профессии машинист тепловоза. Диагноз при поступлении: закрытый оскольчатый перелом средней трети левой ключицы со смещением отломков. На 3 сутки после поступления выполнен остеосинтез ключицы блокируемым стержнем оригинальной конструкции. Лечебная физкультура начата на следующие сутки после операции. Трудоспособность восстановлена через 2 месяца после травмы. Функциональное состояние через 1 год после операции соответствовало 15,8 баллам по шкале DASH (Рисунок 5.5, 5.6).



Рисунок 5.5 - ♂, 43 года, рентгенограммы при поступлении и после оперативного лечения



Рисунок 5.6 - ♂, 43 года, функциональное состояние пациента на 5 сутки после оперативного лечения.

Клинический пример. ♂, 56 лет. Травма бытовая - падение с высоты на вытянутую руку. Диагноз закрытый многооскольчатый перелом средней трети правой ключицы со смещением отломков. На 4 сутки после поступления выполнен остеосинтез ключицы блокируемым стержнем оригинальной конструкции. По шкале DASH 17,4 балла (Рисунок 5.7 – 5.9).



Рисунок 5.7 - ♂, 56 лет, рентгенограмма через 1 год после оперативного лечения

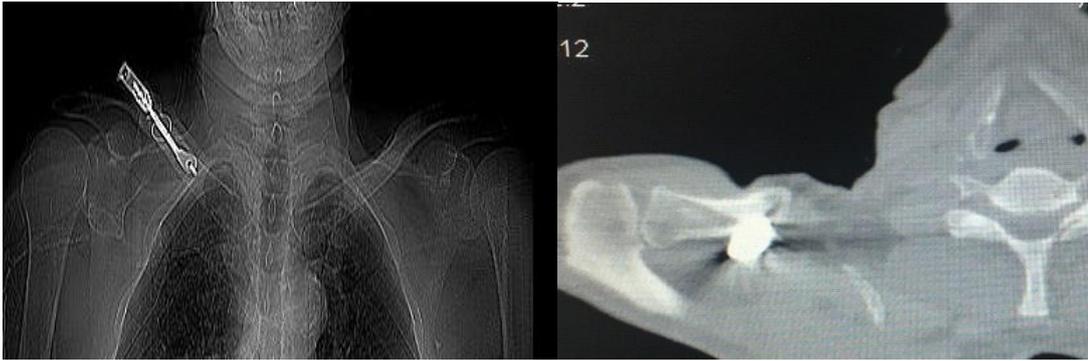


Рисунок 5.8 - ♂, 56 лет, компьютерные томограммы через 1 год после оперативного лечения



Рисунок 5.9 - ♂, 56 лет, функциональное состояние пациента через 1 год после оперативного лечения.

Анализ частоты осложнений выявил достоверно более высокие показатели в группе сравнения по дискомфорту, связанному с наличием металлоконструкции, и контрактуре плечевого сустава ( $p < 0,05$ ). Другие осложнения – металлоз, миграция фиксатора, пороки сращения были выше в группе сравнения, однако статистической значимости по данным показателям не отмечалось ( $p > 0,05$ ). Через 1 год после операции по данным дополнительного опроса по поводу дискомфорта, связанный с металлоконструкцией в области оперированной ключицы, установлено, что в основной группе 16,07% пациентов испытывали дискомфорт, а в группе сравнения 68,75%, что было достоверно выше показателей основной группы ( $p < 0,01$ ) (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 - Осложнения хирургического лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы по данным сравнительного анализа

Виды осложнений	Основная группа (n=48)	Группа сравнения (n=56)	p
Нарушения чувствительности в области ключицы и проксимального отдела плеча	21 (47,92%)	41 (73,21%)	0,01
Контрактура плечевого сустава	4 (7,14%)	10 (20,83%)	0,04
Металлоз	1 (1,79%)	2 (4,17%)	0,55
Деформация надплечья	3 (6,25%)	6 (10,71%)	0,01
Миграция имплантата	1 (1,79%)	4 (8,33%)	0,16
Замедленная консолидация	1 (1,79%)	6 (10,71%)	0,07
Ложный сустав	1 (1,79%)	2 (4,17%)	0,6

Клинический пример. ♀, 26 лет, травма бытовая. Диагноз при поступлении: закрытый перелом средней трети правой ключицы. Был выполнен накостный остеосинтез 1/3 трубчатой пластиной. Через 2 месяца отмечается вторичное чрезфиксаторное смещение отломков. В дальнейшем выполнен реостеосинтез правой ключицы блокируемым стержнем производства Chm (Рисунок 5.10). Лечебная физкультура начата на следующие сутки после реостеосинтеза. Функциональное состояние через 1 год после операции соответствовало 21,6 баллам по шкале DASH.

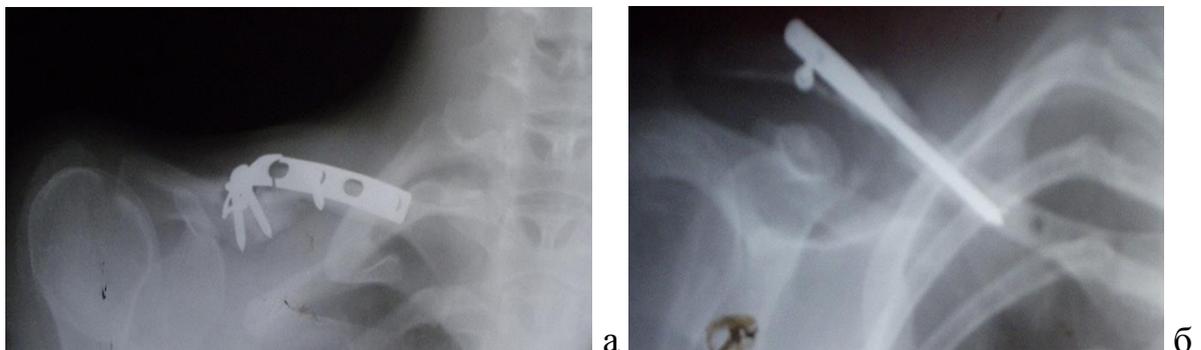


Рисунок 5.10 - Рентгенограммы при поступлении и после оперативного лечения; а - вторичное чрезфиксаторное смещение отломков после накостного остеосинтеза правой ключицы; б – рентгенограмма после реостеосинтез правой ключицы блокируемым стержнем производства Chm.

Клинический пример. ♂, 51 год, травма бытовая. Диагноз при поступлении: закрытый оскольчатый перелом средней трети левой ключицы. Был выполнен накостный остеосинтез реконструктивной пластиной. Через 7 месяцев отмечается миграция винтов, вторичное смещение отломков (Рисунок 5.11) В дальнейшем выполнено удаление пластины, однако сращение перелома не было достигнуто (Рисунок 5.12) Через 1,5 года с момента травмы проведен реостеосинтез левой ключицы блокируемым стержнем оригинальной конструкции. Лечебная физкультура начата на следующие сутки после реостеосинтеза. Функциональное состояние через 1 год после операции соответствовало 20,8 баллам по шкале DASH, по рентгенограмме отмечается консолидация перелома (Рисунок 5.13).

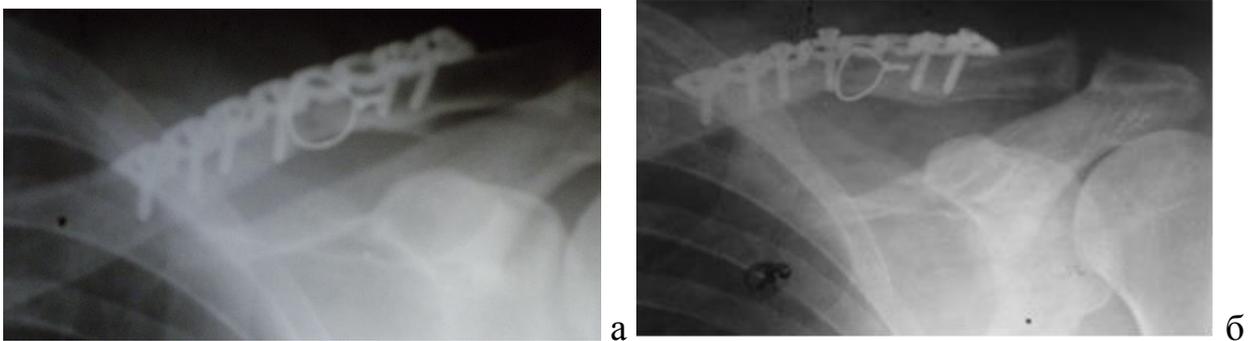


Рисунок 5.11 - Рентгенограммы после оперативного лечения; а - после накостного остеосинтеза левой ключицы; б – вторичное чрезфиксаторное смещение отломков после накостного остеосинтеза правой ключицы



Рисунок 5.12 - Рентгенограмма после удаления реконструктивной пластины

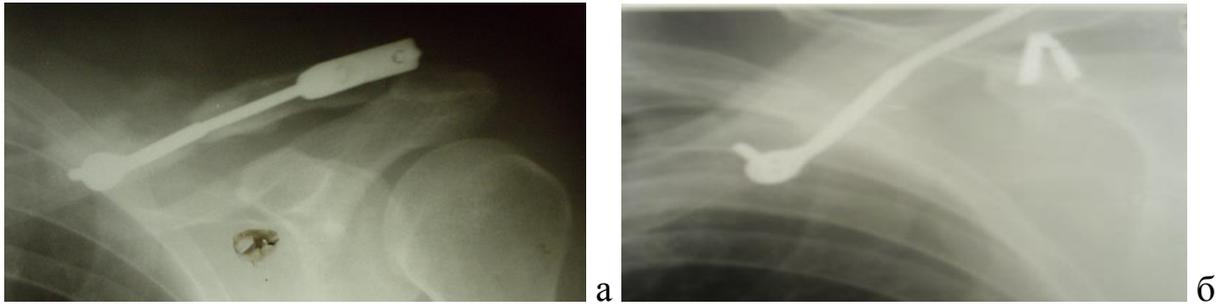


Рисунок 5.13 - Рентгенограммы левой ключицы после реостеосинтеза; а – в раннем послеоперационном периоде; б – через 1 год после реостеосинтеза ключицы блокируемым стержнем оригинальной конструкции.

Анализ отдаленных результатов лечения пациентов с переломами ключицы в средней трети выявил высокую эффективность стандартных методик остеосинтеза. Однако отмечается определенная доля осложнений в виде пороков сращения и контрактур, что требует усовершенствования традиционных или разработки альтернативных технологий лечения.

Разработанная система для остеосинтеза ключицы может быть рекомендована как метод выбора для остеосинтеза переломов ключицы в средней трети, так как продемонстрировала сопоставимые прочностные характеристики в сравнении с другими системами согласно данным конечного элементного моделирования и стендовых испытаний.

Метод лечения пациентов с переломами ключицы в средней трети с использованием остеосинтеза на основе осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента с применением разработанного компрессирующего блокируемого стержня для остеосинтеза переломов ключицы в средней трети (патенты на изобретение №2284786 от 10.10.2006, №2345730 от 10.02.2009) и ранней функциональной реабилитации с использованием ортотерапии в среднефизиологическом положении плечевого пояса, продемонстрировала более высокую эффективность по сравнению с накостным остеосинтезом по функциональному состоянию пациентов по шкале DASH и частоте

осложнений. Данный подход к лечению и реабилитации пострадавших с переломами ключицы позволяет улучшить результаты лечения, обеспечивает бытовую и социальную реинтеграцию пациентов.

Знание диапазона эксплуатационных качеств имплантата позволяет прогнозировать длительность их функционирования и сделать обоснованный выбор технологии остеосинтеза, что может быть одним из ключевых факторов эффективности оперативного лечения и диктует определенную схему функциональной реабилитации и нагрузочного режима.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повреждения любого сегмента опорно-двигательной системы сопровождаются функциональными нарушениями и длительной нетрудоспособностью пострадавших. Переломы ключицы относятся к одному из наиболее часто встречающихся видов травм и составляют от 2,6 до 4% среди всех повреждение скелета, в структуре которых значительную долю занимают переломы в средней трети, составляющие 69 - 82% от всех переломов данного сегмента. При этом пострадавшие чаще всего являются лицами молодого и среднего возраста, ведущих активный образ жизни, что обуславливает актуальность данной проблемы.

На сегодняшний день наибольшей востребованностью пользуются те методы лечения переломов ключицы, которые позволяют проводить немедленную социальную, бытовую и профессиональную реинтеграцию. Методом выбора являются высокотехнологичные операции, обеспечивающие функциональную свободу индивида, что минимизирует ятрогенные осложнения.

Изучение эффективности различных способов лечения данных повреждений позволяет выделить рациональные стороны лечебных факторов, что прямо отражает ключевые патогенетические механизмы. При этом значительная часть используемых в настоящее время методик оперативного лечения переломов ключицы позволяют достичь быстрого восстановления структурно-функциональных стереотипов пациента в большинстве случаев. Однако отмечается определенная доля осложнений и неудовлетворительных исходов, обусловленных различными причинами: характер перелома, адекватность остеосинтеза, оптимальность реабилитационных мероприятий. В связи с этим требуется проведение сравнительного анализа эффективности различных технологий остеосинтеза переломов ключицы.

Анализ состояния вопроса по данным литературы позволяет утверждать, что переломы ключицы – это актуальная проблема современной травматологии и ортопедии в связи с высокой частотой травматизации данного сегмента, с преимущественным поражением лиц трудоспособного возраста. Ключица является важным звеном в структуре плечевого пояса и функционально задействована в большинстве двигательных реакций. Сложность геометрии данного сегмента в сочетании с небольшими размерами закономерно усложняет проведение анатомичной репозиции отломков и влияет на дальнейшую функциональную состоятельность ключицы.

Несмотря на широкое внедрение остеосинтеза в травматологии и ортопедии, для лечения переломов ключицы достаточно часто используются консервативные методы терапии. Однако данная тактика лечения чаще всего находит применение у детей и подростков. Анализ публикаций по взрослому контингенту выявил преимущество использования хирургических методов по сравнению с консервативным лечением.

Выбор технологии оперативного лечения ключицы при переломах в средней трети в большинстве случаев проводится между накостным и внутрикостным остеосинтезом. Ряд авторитетных специалистов рекомендуют использование внеочагового остеосинтеза при повреждениях данного сегмента. Данные сравнительных стендовых испытаний, выявили достаточно высокую стабильность фиксации при использовании внутрикостного стержня и накостной пластины, которые позволяют обеспечить необходимую степень жесткости фиксации отломков. При этом наиболее высокие показатели стабильности отмечались при использовании стержневого внеочагового аппарата. Однако использование аппаратов внешней фиксации в клинической практике сопровождается целым рядом неудобств для пациента, необходимостью частого контроля со стороны врача, что значительно ограничивает широкое использование данных технологий оперативного лечения.

В связи с этим наиболее часто в сравнительных исследованиях изучались эффективность применения в ортопедической практике технологий накостного и внутрикостного остеосинтеза для лечения пациентов с переломами ключицы в средней трети. Анализ работ продемонстрировал, что каждый из методов хирургического лечения обладает определенным рядом преимуществ и недостатков. При этом применяемые технологии лечения не позволяют в достаточной мере гарантировать благоприятный исход и избежать осложнений. Остается дискуссионным вопрос выбора метода остеосинтеза ключицы, что требует совершенствования традиционных подходов и разработки современных конструкций для хирургического лечения переломов средней трети ключицы. В связи с этим изучение особенностей различных технологий остеосинтеза ключицы и повышение эффективности хирургического лечения, требует углубленного исследования данной проблемы и выработки патогенетически обоснованных эффективных лечебных подходов.

Исследование, изложенное в данной диссертации, проводилось в 2 этапа. На первом этапе был проведен ретроспективный анализ исходов хирургического лечения 32 пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети, изучены осложнения, причины их развития и определены возможные способы решения. На втором этапе выбраны 2 группы для сравнительного анализа. В основной группе (48 пациентов) использовалась технология лечения пациентов на основе осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента и ранней функциональной реабилитации с использованием ортотерапии в среднефизиологическом положении плечевого пояса. Из них в 34 случаях использовался оригинальный компрессирующий блокирующий стержень, в 14 случаях применялся блокируемый стержень производства Chm. В группе сравнения (56 пациентов) использовалась технология лечения на основе смещенного силового шунтирования с применением накостного остеосинтеза и общепринятой реабилитации.

Обследование пациентов включало в себя оценку ортопедического статуса, функционального состояния по шкале DASH (The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand), шкале ВАШ и рентгенографию поврежденного сегмента в динамике через 3, 6 и 12 месяцев после операции. На обоих этапах клинического исследования проводился дополнительный опрос пациентов через 1 год после оперативного лечения о наличии дискомфорта в области ключицы.

Также были проведены экспериментальные стендовые испытания различных технологий остеосинтеза ключицы. Исследованы группы образцов ключицы с переломами в средней трети, полученными по одинаковому механизму в эксперименте на биоманекенах, синтезированные различными видами имплантатов с рандомизацией технологии остеосинтеза, а также одна группа с интактной костью. Испытание проводилось на универсальном динамометре INSTRON 1185. Деформация образцов проводилась в трех плоскостях: в горизонтальной плоскости (по оси ключицы, при этом акромиальный конец испытуемых моделей располагался внизу, грудинный вверх), во фронтальной плоскости (сверху вниз) и в сагиттальной плоскости (спереди назад). Каждая исследуемая система подвергалась дозированной нагрузке по оси конечности, до полного разрушения. Протоколирование стендовых испытаний проводилось с помощью аналогового цифрового преобразователя с автоматической регистрацией времени, скорости, силы нагрузки и кинематографии. На стенде регистрировались максимальные пиковые значения сопротивления нагрузке, длительность эффективного сопротивления нагрузке, критические точки несостоятельности системы, величина падения межфрагментарной стабильности и характер падения напряжения.

Использование конечного элементного моделирования позволило рассчитать распределение внутренних напряжений в костной ткани при воздействии различных внешних нагрузок, которое проводили с

использованием программного комплекса конечного элементного моделирования ANSYS Mechanical.

Ретроспективный анализ исходов лечения 32 пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети выявил, что функциональное состояние верхней конечности по шкале DASH через 1 год после операции составило  $27,3 \pm 5,27$  баллов. При этом отмечались различные осложнения. Наиболее часто выявлялись нарушения чувствительности в области ключицы и проксимального отдела плеча, контрактура плечевого сустава. Также встречались осложнения, требовавшие повторных хирургических вмешательств – ложный сустав средней трети ключицы, миграция конструкции. По данным опроса пациенты часто жаловались на наличие дискомфорта, связанного с металлоконструкцией.

Данные осложнения обусловлены ограниченностью диапазона полезных свойств технологии лечения на основе накостного остеосинтеза. В связи с этим требуется разработка технологии лечения пациентов с переломами ключицы, которая превосходит эффективность традиционных методов лечения. Методом выбора может быть использование остеосинтеза с применением осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента.

Изучение эффективности осевого силового шунтирования начали с оценки распределения напряжений на основе конечного элементного моделирования. Проведенное исследование распределения векторов напряжения при различных нагрузках на ключицу на основе конечного элементного моделирования установило, что при нагрузках в различных плоскостях концентрация векторов напряжения приходится на среднюю треть сегмента с деформацией на 5мм, что обуславливает высокую долю переломов именно в этой области.

Моделирование нагрузок по оси, на излом и ротационное смещение на модели ключицы с осевым типом шунтирования выявило уменьшение максимальных значений перемещения с 5мм до  $\sim 3,7$  мм. При этом

максимальные напряжения возросли и были сосредоточены в имплантате. Исследование распределений напряжений и величины смещения в модели ключицы с оригинальным стержнем на основе конечного элементного моделирования с использованием программного комплекса конечного элементного моделирования ANSYS Mechanical, выявило уменьшение деформации и перераспределение напряжений на конструкцию в отличие от модели интактной ключицы, что теоретически обосновывает стабильность данной системы при клиническом применении.

Практическая реализация технологии осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору ключицы проводилась на основе использования имплантата оригинальной конструкции для внутрикостного остеосинтеза ключицы. Разработан способ хирургического лечения переломов ключицы в средней трети и компрессирующий блокируемый стержень для остеосинтеза ключицы (патенты на изобретение №2284786 от 10.10.2006, №2345730 от 10.02.2009) на основе осевого силового шунтирования, приближенного физиологическому вектору сегмента. Практическое применение конструкций для остеосинтеза должно быть подтверждено на основе сравнительных стендовых испытаний с системами, наиболее широко используемыми в ортопедической практике.

Проведенные стендовые испытания систем кость-имплантат-кость, а также интактной кости, обнаружили, что при нагрузке в горизонтальной плоскости по оси ключицы максимальную пиковую прочность продемонстрировала группа интактных образцов (группа 1), которые разрушились при нагрузке равной в среднем 2600 Н. При этом исследуемые стандартные технологии с использованием сертифицированных имплантатов по максимальным пиковым значениям сопротивления нагрузке показали следующие результаты: группа 2 (реконструктивная пластина 1,2 мм) – 1520 Н, группа 3 (реконструктивная пластина 2,3 мм) – 1730 Н, группа 4 (стержень оригинальной конструкции) – 2450 Н, группа 5 (пластина LCP) – 2480 Н,

группа 6 (внутрикостный стержень без блокирования 2 x 3 мм) – 1010 Н, группа 7 (внутрикостный стержень без блокирования 3,5 x 4,5 мм) – 1260 Н.

Стендовые испытания системы кость-имплантат-кость в условиях остеосинтеза ключицы, установили, что исследуемые технологии не позволяют достичь механической прочности интактной кости. Оценка характера поведения систем в условиях осевой нагрузки, выявила, что одномоментное падение напряжения отмечалось у интактных образцов, а кривые систем кость-имплантат-кость демонстрировали постепенное падение напряжения.

Исследование устойчивости к осевой и угловой нагрузкам системы кость-имплантат-кость позволило установить, что изученные системы позволяют обеспечить устойчивость в диапазоне от 75,17% до 95,38% прочности в сравнении с интактными образцами. Нагрузочные характеристики отражают деформацию системы кость-имплантат-кость на уровне перелома и в последующем зависят от эласто-упругих свойств имплантата.

Сравнительный анализ пиковых значений сопротивления осевой нагрузке выявил сопоставимые показатели между технологиями на костного остеосинтеза и оригинального блокируемого стержня. Максимальную длительную устойчивость во временном разложении продемонстрировали образцы с пластиной LCP, которые превосходили другие образцы по временной резистентности. Оптимальный диаметр стержня для внутрикостного остеосинтеза ключицы при переломах в средней трети должен быть не менее 3,5мм.

Проведение стендовых испытаний в сагиттальной плоскости (спереди-назад), выявило, что образцы синтезированным оригинальным стержнем превзошли другие системы по величине нагрузки и времени сопротивления. При нагрузке во фронтальной плоскости (сверху-вниз) более высокую резистентность продемонстрировали образцы с оригинальным блокируемым стержнем.

Таким образом, разработанная конструкция может быть рекомендована как метод выбора для остеосинтеза переломов ключицы в средней трети, т.к. продемонстрировала сопоставимые прочностные характеристики в сравнении с другими системами. При этом проведенная оценка стартовых характеристик устойчивости системы кость-имплантат-кость при использовании изученных технологий остеосинтеза ключицы при переломах в средней трети позволила определить критические точки несостоятельности системы и раскрывает перспективу совершенствования эксплуатационных качеств имплантата.

Значение совершенной репозиции и стабилизации отломков при переломе не ограничивается только восстановлением формы кости и созданием таким образом наилучших условий для сращения перелома и благоприятного функционального исхода перелома. Функциональная реабилитация пациентов с травматическими поражениями плечевого пояса стала неотъемлемой частью современного лечения, однако классические принципы ортопедии зачастую не соблюдаются для пациентов с повреждениями ключицы. При проведении реабилитационных мероприятий не учитываются возможности современных методик реабилитации, значимость которых на сегодняшний день недооценена. В связи с этим требуется проведение активного восстановительного лечения по классическим канонам ортопедии для лиц с повреждениями плечевого пояса с учетом современных возможностей реабилитации. Это оптимизирует нагрузку на оперированную ключицу, что снижает риск развития различных осложнений.

В послеоперационном периоде проводилась фиксация оперированной верхней конечности в отводящей шине в среднефизиологическом положении плечевого пояса: отведение плеча  $45-60^{\circ}$ , сгибание плеча  $20-30^{\circ}$ , среднее положение между наружной и внутренней ротацией в течение 4-5 недель. Данная иммобилизация использовалась при вертикальном положении пациента. В горизонтальном положении отводящая шина может быть

заменена на повязку Дезо в удобном положении верхней конечности для пациента.

Лечебная физкультура подразделялась на 3 этапа. На 1 этапе (4-5 недель) в раннем послеоперационном периоде ЛФК выполнялась при фиксации верхней конечности в отводящей шине в среднефизиологическом положении, и включала в себя активные упражнения для кистевого и локтевого суставов и пассивные упражнения для плечевого сустава. На 2 этапе (следующие 3-4 недели) лечебная физкультура дополнялась упражнениями для плечевого сустава в активном режиме в безболезненном диапазоне с постепенным увеличением нагрузок. Для оптимизации реабилитации на первых двух этапах использовался аппарат для постоянного пассивного движения.

Эффективность технологии оперативного лечения при повреждениях ключицы основывается не только на соблюдении принципов остеосинтеза, но и на ранней функциональной реабилитации, которая должна проводиться на основе биомеханического подхода по классическим принципам ортопедии в среднефизиологическом положении плечевого пояса. Сочетание оптимального по прочностным характеристикам имплантата, установленного по физиологическому вектору сегмента и адекватной функциональной реабилитации, позволяет достичь наилучших результатов лечения.

Современная доктрина лечения нестабильных переломов средней трети ключицы требует немедленного восстановления структурно-функциональных стереотипов на основе стабильно-функционального остеосинтеза и программы реабилитации. Этому служит использование малоинвазивного остеосинтеза, сохранения кровоснабжения и лечебной физкультуры, проводящейся из стартовой нулевой точки с постепенным увеличением амплитуды движений и силовых нагрузок.

Анализ результатов клинического исследования выявил достоверное преимущество результатов в основной группе по шкале DASH ( $p=0,031$ ), через 3 месяца после операции. Функциональное состояние пациентов через

3 месяца после оперативного лечения в основной группе составило  $25,85 \pm 5,17$  баллов, в группе сравнения  $28,09 \pm 5,24$  балла. Функциональное состояние пациентов через 6 месяцев в основной группе по шкале DASH составило  $23,81 \pm 5,1$ , что было достоверно лучше, чем в группе сравнения –  $25,91 \pm 4,91$ , ( $p=0,035$ ). Достоверное преимущество результатов в основной группе по шкале DASH ( $p=0,038$ ), сохранялось через 12 месяцев после операции. В основной группе средний балл составил  $22,1 \pm 5,16$  балла, в группе сравнения –  $24,25 \pm 5,22$  балла.

Анализ результатов по шкале ВАШ не выявила достоверных различий между группами через 1 год после оперативного лечения –  $0,79 \pm 0,09$  в основной группе и  $0,84 \pm 0,12$  в группе сравнения ( $p > 0,05$ ).

Анализ частоты осложнений выявил достоверно более высокие показатели в группе сравнения по дискомфорту, связанному с наличием металлоконструкции, и контрактуре плечевого сустава ( $p < 0,05$ ). Другие осложнения – металлоз, миграция фиксатора, пороки сращения были выше в группе сравнения, однако статистической значимости по данным показателям не отмечалось ( $p > 0,05$ ). Через 1 год после операции по данным дополнительного опроса по поводу дискомфорта, связанный с металлоконструкцией в области оперированной ключицы, установлено, что в основной группе 16,07% пациентов испытывали дискомфорт, а в группе сравнения 68,75%, что было достоверно выше показателей основной группы ( $p < 0,01$ ).

Предложенная технология оперативного лечения переломов ключицы в средней трети на основе осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому вектору сегмента с использованием оригинального компрессирующего блокируемого стержня улучшить результаты лечения данной группы пациентов.

Разработанная конструкция может быть рекомендована как метод выбора для остеосинтеза диафизарных переломов ключицы, т.к. продемонстрировала сопоставимые прочностные характеристики в

сравнении с другими системами. Знание диапазона эксплуатационных качеств имплантата позволяет прогнозировать длительность их функционирования и сделать обоснованный выбор технологии остеосинтеза, что может быть одним из ключевых факторов эффективности оперативного лечения и диктует определенную схему функциональной реабилитации и нагрузочного режима.

Анализ отдаленных результатов лечения пациентов с переломами ключицы в средней трети выявил высокую эффективность стандартных методик остеосинтеза. Однако отмечается определенная доля осложнений в виде пороков сращения и контрактур.

Методика лечения пациентов с переломами ключицы в средней трети с использованием остеосинтеза на основе осевого силового шунтирования, приближенного к физиологическому силовому вектору сегмента с применением разработанного компрессирующего блокируемого стержня для остеосинтеза переломов ключицы в средней трети (патенты на изобретение №2284786 от 10.10.2006, №2345730 от 10.02.2009) и ранней функциональной реабилитации с использованием ортотерапии в среднефизиологическом положении плечевого пояса, продемонстрировала более высокую эффективность по сравнению с накостным остеосинтезом по функциональному состоянию пациентов по шкале DASH и частоте осложнений. Данный подход к лечению и реабилитации пострадавших с переломами ключицы позволяет улучшить результаты лечения, обеспечивает бытовую и социальную реинтеграцию пациентов.

## ВЫВОДЫ

1. Ретроспективный анализ отдаленных результатов лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети выявил преимущество хирургического лечения.

Применение стандартных и адаптированных технологий остеосинтеза не позволяет предотвратить каскад осложнений, непреодолимый при данных лечебных доктринах. Большинство пациентов испытывают нарушения чувствительности (87,5%), дискомфорт в проекции расположения металлоконструкции (78,13%), в ряде случаев отмечаются контрактуры (21,88%), металлоз (12,5%), миграция фиксатора (6,25%), пороки сращения (9,38%) и перелом фиксатора (3,13%).

2. Разработан метод хирургического лечения пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети на основе малоинвазивного остеосинтеза, обеспечивающего осевое силовое шунтирование, приближенного к физиологическому вектору сегмента с использованием компрессирующего блокируемого стержня (патенты на изобретение №2284786 от 10.10.2006, №2345730 от 10.02.2009) и ранней функциональной реабилитации.

3. Исследование распределения напряжений и деформации на основе конечного элементного анализа на модели ключицы с различными способами фиксации выявило преимущество внутрикостной фиксации при моделировании нагрузок в сагиттальной, фронтальной плоскостях и ротационном смещении (в 1,67 – 2,89 раза).

Стабильно-функциональный остеосинтез ключицы при переломах в средней трети сравнительно с современными хирургическими приемами не позволяет получить механические характеристики интактного сегмента и обеспечивает устойчивость в диапазоне от 75,17% до 95,38% прочности от нативной кости. Сравнение пиковых значений сопротивления осевой нагрузке выявило преимущество метода осевого силового шунтирования,

приближенного к физиологическому вектору сегмента по сравнению со смещенным силовым шунтированием при нагрузке в сагиттальной (на 12,88%) и фронтальной (9,02%) плоскостях.

4. Программа функциональной реабилитации пациентов с нестабильными переломами ключицы с выбором стартовой нулевой точки среднефизиологического положения плечевого пояса обеспечивает симметричное восстановление мышц и оптимизирует нагрузочный режим.

5. Разработанный метод хирургического лечения нестабильных переломов ключицы в средней трети на основе оптимализации силовых векторов с использованием осевого силового шунтирования компрессирующего блокируемого стержня и ранней функциональной реабилитации позволила достичь высокой эффективности по показателям функционального состояния по шкале DASH (в основной группе через 1 год после оперативного лечения средний балл составил  $22,1 \pm 5,16$  балла, в группе сравнения –  $24,25 \pm 5,22$  балла ( $p < 0,05$ )), повышения комфортности, снижения количества осложнений (нарушения чувствительности на 25,29%, контрактур на 13,69%, деформации надплечья на 4,46%).

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Хирургическое лечение пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети должно обеспечивать минимизацию ятрогенных последствий и режим ранней функциональной активности.
2. Внутрикостный стабильно-функциональный остеосинтез при переломах средней трети ключицы должен проводиться по малоинвазивной технологии без пересечения ветвей надключичного нерва.
3. Функциональная реабилитация в послеоперационном периоде пациентов с нестабильными переломами ключицы в средней трети должна проводиться на основе стабильного остеосинтеза и этапного использования методов ортотерапии.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

ВАШ	визуальная аналоговая шкала
ГБУЗ	государственное бюджетное учреждение здравоохранения
ГКБ	городская клиническая больница
ИМТ	индекс массы тела
КТ	компьютерная томография
ЛФК	лечебная физкультура
МРТ	магнитно-резонансная томография
РКИ	рандомизированное контролируемое исследование
УЗИ	ультразвуковое исследование
ЭНМГ	электронейромиография
ЦРБ	центральная районная больница
3D	объемная реконструкция
CPM	continuous passive motion (постоянное пассивное движение)
DASH	The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуразаков, У.А. Изучение влияния имплантата для внутрикостного остеосинтеза диафизарных переломов ключицы на окружающие ткани (экспериментальное исследование) / У.А. Абдуразаков, А.У. Абдуразаков, Ж.А. Тажиев // Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. - 2016. - № 2. - С. 13-15.

2. Абдуразаков, У.А. Результаты оперативного лечения диафизарных переломов ключицы / У.А. Абдуразаков, А.У. Абдуразаков, Ж.А. Тажиев // Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. - 2015. - № 3-4. - С. 21-23.

3. Актуальность выбора расположения пластины при накостном остеосинтезе переломов ключицы в средней трети / Г.А. Айрапетов, Н.В. Загородний, А.А. Волна [и др.] // Кубанский научный медицинский вестник. - 2014. - № 1 (143). - С. 17-19.

4. Актуальность выбора хирургического доступа при остеосинтезе переломов ключицы на уровне диафиза / Г.А. Айрапетов, Н.В. Загородний, А.А. Волна [и др.] // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. - 2013. – Т. 6, № 3. - С. 320-323.

5. Анатомия надключичного нерва во время выполнения хирургического доступа к диафизу ключицы / Г.А. Айрапетов, Н.В. Загородний, А.А. Волна [и др.] // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. - 2013. - Т. 6, № 4. - С. 464-466.

6. Анаркулов, Б.С. Компрессионный остеосинтез переломов ключицы / Б.С. Анаркулов, А.Ж. Тайланов, Б.Ж. Жунусов // Достижения науки и образования. - 2016. - № 7 (8). - С. 86-90.

7. Анаркулов, Б.С. Критерии оценки результатов оперативного лечения переломов ключицы по новой методике / Б.С. Анаркулов, А.Ж. Тайланов, Б.Ж. Жунусов // Вестник Авиценны. - 2016. - № 1 (66). - С. 30-34.

8. Бабушкин, Ю.Н. Оперативное лечение переломов ключицы / Ю.Н. Бабушкин, В.П. Конев, В.П. Ланшаков // Новые технологии в медицине: тез. докл. науч.-практич. конф. с междунар. участ. – Курган, 2000. – Ч. 1. – С. 240.
9. Батпенов, Н.Д. Способ лечения больных с переломо-вывихами акромиального конца ключицы / Н.Д. Батпенов, Е.Н. Набиев // Научное обозрение. Медицинские науки. - 2018. - № 1. - С. 5-9.
10. Бейдик, О.В. Оперативное лечение переломов ключицы с использованием аппаратов внешней фиксации / О.В. Бейдик, М.М. Евдокимов, Н.А. Ромакина // Гений ортопедии. - 2003. - № 2. - С. 45-49.
11. Белова, А.Н. Руководство по реабилитации больных с двигательными нарушениями: в 2-х т. / А.Н. Белова, О.Н. Щепетова. - М.: Антидор, 1998. - Т. 1. - 224 с.
12. Белова, А.Н. Руководство по реабилитации больных с двигательными нарушениями: в 2-х т. / А.Н. Белова, О.Н. Щепетова. - М.: Антидор, 1998. - Т. 2. - 648 с.
13. Биомеханическое компьютерное моделирование способов остеосинтеза / О.В. Бейдик, М.С. Тонин, К.К. Левченко [и др.] // Гений ортопедии. – 2007. - № 4. - С. 89-91.
14. Богданов, Р. М. Клинико-функциональное состояние плечевого пояса при переломах ключицы в зависимости от метода лечения : автореф. дис. . канд. мед. наук: 14.00.22 / Р. М. Богданов. — Уфа, 1972. - 22 с.
15. Восстановительная медицина и реабилитация / В.Ф. Казаков, И.Н. Макарова, Г.В. Ускова [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2014. – №. 4. – С. 38 - 42.
16. Выбор расположения пластины при накостном остеосинтезе ключицы / Г.А. Айрапетов, А.А. Волна, Н.В. Загородний [и др.] // Сборник научных трудов, посвящённый 25-летию кафедры травматологии и ортопедии Российского университета дружбы народов. – [Б.м.], 2017. - С. 31-34.

17. Выбор технологии остеосинтеза нестабильных переломов ключицы / Б.Ш. Минасов, Ш.Ф. Якупов, Р.Р. Якупов [и др.] // Гений ортопедии. - 2018. - Т. 24, № 2. - С. 142-146.

18. Гланц, С. Медико-биологическая статистика: пер. с англ. - М.: Практика, 1998. — 459 с.

19. Городилов, В.З. Остеосинтез компрессирующими скобами с памятью формы у больных с несросшимися переломами и ложными суставами ключицы / В.З. Городилов, А.В. Тузовский // Актуальные вопросы имплантологии и остеосинтеза: сб. науч. трудов. – Новокузнецк, 2000. – Ч. 2. – С. 34-35.

20. Детский травматизм и оказание специализированной помощи детям в мегаполисе (на примере Санкт-Петербурга) / А.Г. Баиндурашвили, С.В. Виссарионов, К.С. Соловьева, А.В. Залетина // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. - 2018. - Т. 8, № 2. - С. 17-25.

21. Джумабеков, С.А. Анализ травм и переломов ключицы в Жалал-Абадской области / С.А. Джумабеков, А.Ж. Тайланов, Б.Ж. Жунусов // Вестник КГМА им. И.К. Ахунбаева. - 2016. - № 4. - С. 77-80.

22. Дюшеналиев, Б.Б. Остеосинтез стягивающими устройствами при переломах ключицы / Б.Б. Дюшеналиев, Э.Б. Мамытов, М.А. Акимбаев // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. - 2017. - Т. 17, № 3. - С. 18-19.

23. Емельянов, С.А. Ревизионный остеосинтез при переломах ключицы / С.А. Емельянов, О.Н. Ямщиков // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2015. - Т. 20, № 2. - С. 322-324.

24. Еськов, В.М. Новые биоинформационные подходы в развитии медицины с позиций третьей парадигмы (персонифицированная медицина - реализация законов третьей парадигмы в медицине) / В.М. Еськов, А.А.

Хадарцев, Л.И. Каменев // Вестник новых медицинских технологий. - 2012. - Т.19, № 3. - С. 25-28.

25. Жуков, П.В. Некоторые аспекты интрамедуллярной фиксации переломов ключицы / П.В. Жуков, А.В. Лимонов, К.К. Стэльмах // Вестник травматологии и ортопедии Урала. - 2013. - Т. 8, № 3-4. - С. 019-022.

26. Жунусов, Б.Ж. Функциональный остеосинтез переломов акромиального конца ключицы / Б.Ж. Жунусов, Б.С. Анаркулов // Вестник КГМА им. И.К. Ахунбаева. - 2016. - № 1. - С. 88-90.

27. Зорин, В.И. Клинический опыт хирургического лечения пациентов с посттравматическим ложным суставом ключицы / В.И. Зорин, Н.Г. Жила // Детская хирургия. - 2016. - Т. 20, № 4. - С. 219-221.

28. Зорин, В.И. Хирургическое лечение переломов ключицы у детей с применением металлоостеосинтеза моделированными пластинами: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.17 / Зорин Вячеслав Иванович. - Хабаровск, 2010. - 22 с.

29. Интрамедуллярный остеосинтез эластичным титановым стержнем (TEN) как метод выбора хирургического лечения переломов ключицы / К.А. Егиазарян, А.П. Ратьев, Д.И. Гордиенко, А.В. Григорьев // Травма 2017: мультидисциплинарный подход: сб. тез. Междунар. конф. / редколл.: А.В. Скороглядов [и др.]. – [Б.м.], 2017. - С. 131-132.

30. К вопросу о лечении переломов ключицы / Ю.В. Сухин, В.В. Сердюк, В.П. Топор [и др.] // Травма. - 2014. - Т. 15, № 2. - С. 33-35.

31. Капанджи, А.И. Верхняя конечность. Физиология суставов. – М.: Эксмо, 2009. - 368 с.

32. Кирсанов, В.А. Комбинированный остеосинтез переломов ключицы / В.А. Кирсанов, В.А. Ковалев, В.В. Половинко // Хирургия повреждений, критические состояния. Спаси и сохрани: сб. матер. Пироговского форума / редколл.: В.И. Зоря [и др.]. – М., 2017. - С. 351.

33. Котельников, Г.П. Лечение пациентов травматологического профиля / Г. П. Котельников, В.Ф. Мирошниченко, С. В. Ардатов. – М., 2017.

34. Котельников, Г.П. Персонализированный подход в реабилитации больных с патологией опорно-двигательной системы в клиниках САМГМУ / Г.П. Котельников, А.В. Яшков, С.Ю. Боринский // Актуальные вопросы медицинской реабилитации, восстановительной медицины, курортологии и физиотерапии: матер. науч.-практич. конф., посвящ. 30-летию каф. мед. реабилитации, спортивной медицины, физиотерапии и курортологии Института проф. образования Самарского гос. мед. университета / под ред. Г.П. Котельникова. - Самара, 2015. - С. 99 - 100.

35. Ланшаков, В.А. Лечение ортопедо-травматологической патологии плечевого сустава с применением конструкций с памятью формы: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.22 / Ланшаков Виталий Алексеевич. – Иркутск, 1996. – 32 с.

36. Мартель, И.И. Лечение закрытых переломов ключицы различными вариантами остеосинтеза / И.И. Мартель, Е.О. Дарвин // Гений ортопедии. – 2011. - № 4. – С. 5-8.

37. Мартель, И.И. Оценка нейрофизиологических и динамометрических показателей при лечении закрытых переломов ключицы методом чрескостного остеосинтеза / И.И. Мартель, К.В. Колчанов, Е.О. Дарвин // Гений ортопедии. - 2013. - № 2. - С. 27-30.

38. Математическое моделирование вариантов остеосинтеза ключицы у 11 переломов в средней трети / М. Ю. Карпинский, О. В. Ярьско, К.В. Павленко [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. - 2014. - № 4 (597). - С. 5-13.

39. Мацакян, А.М. Лечение переломов ключицы и их последствий на основе биомеханической концепции фиксации отломков: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.22 / Мацакян Артак Мацакович. – М., 2009. - 24 с.

40. Миначов, Б.Ш. Оперативное лечение нестабильных повреждений коленного сустава: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.22 / Миначов Булат Шамильевич. – Самара, 1995. – 36 с.

41. Минасов, Б.Ш. Хирургическое лечение нестабильных переломов ключицы / Б.Ш. Минасов, Ш.Ф. Якупов, Р.Р. Якупов // Уральский медицинский журнал. - 2017. - № 10 (154). - С. 89-92.
42. Миронов, С.П. Болезни костно-мышечной системы как социально-экономическая проблема / С.П. Миронов, Н.А. Еськин, Т.М. Андреева // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. - 2012.- № 2.- С.3-7.
43. Организация помощи пациентам с переломом средней трети ключицы. Современное состояние проблемы консервативного и хирургического лечения, возможные решения / Г.А. Айрапетов, Н.В. Загородний, А.А. Волна [и др.] // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2013. - Т. 8. № 2. - С. 42-44.
44. Остеосинтез: история и современность / Г.Г. Батыгин, Н.В. Загородний, М.А. Абдулхабирова. – М., 2014. – 616 с.
45. Остеосинтез переломов и переломо-вывихов ключицы / О.Б. Гришанин, С.В. Сергеев, С.И. Гильфанов [и др.] // Клиническая практика. - 2015. - № 1 (21). - С. 26-29.
46. Очкуренко, А.А. Проблема остеопороза в травматологии и ортопедии / А.А. Очкуренко // Тезисы докладов VII Научно-образовательной конференции с международным участием. – М., 2018.
47. Результаты стендовых испытаний системы кость-имплантат-кость в условиях стандартного остеосинтеза при переломах проксимального отдела бедра / Б.Ш. Минасов, М.Ю. Ханин, Р.Р. Якупов, Т.Б. Минасов // Казанский медицинский журнал. - 2010. - Т. 91. - № 1. - С. 40-44.
48. Руководство по внутреннему остеосинтезу (методика, рекомендованная группой Швейцария) / М.Е. Мюллер, М.А. Альговер, Р. Шнейдер [и др.]. - Springer Verlag, 1996. – 750 с.
49. Сергеев, С.В. Новая пластина для остеосинтеза ключицы / С.В. Сергеев, К.Ю. Козлов, О.Б. Гришанин // Остеосинтез. - 2010. - № 2(11). - С. 21-23.

50. Синельников, Р.Д. Атлас анатомии человека: в 4-х т. - М.: Медицина, 1996.
51. Скороглазов, А.В. Интрамедуллярный остеосинтез ключицы / А.В. Скороглазов, А.В. Ивков, М.В. Шнейдеров // Вестник РГМУ. – 2013. - № 3. - С. 22-25.
52. Скороглазов, А.В. Интрамедуллярный остеосинтез ключицы / А.В. Скороглазов, М.В. Шнейдеров А.В. Ивков // Азиатский журнал сердечно-сосудистой хирургии. - 2014. - № 12 (Спец. вып.). - С. 75-76.
53. Скороглазов, А.В. Интрамедуллярный остеосинтез ключицы: медицинские рекомендации / А.В. Скороглазов, М.В. Шнейдеров. - М., 2014. - 16 с.
54. Сравнительный анализ хирургического лечения нестабильных переломов ключицы / Б.Ш. Минасов, Ш.Ф. Якупов, Р.Р. Якупов [и др.] // Креативная хирургия и онкология. - 2017. - Т. 7, № 4. - С. 11-15.
55. Сушко, Г.С. Лечение переломов ключицы методом внеочагового остеосинтеза / Г.С. Сушко // Лечение ортопедо-травматологических больных в стационаре и поликлинике методом чрескостного остеосинтеза, разработанным КНИИЭКОТ: тез. докл. Всесоюз. науч.- практич. конф. - Курган, 1982. - Т. 1. - С. 93-95.
56. Тайланов, А.Ж. Интрамедуллярный компрессирующий остеосинтез при переломах ключицы / А.Ж. Тайланов, Э.А. Байгараев // Медицина Кыргызстана. - 2012. - Т. 1, № 8. - С. 28-29.
57. Теоретическое обоснование и практическая реализация модели динамического воздействия на плечевой пояс при переломах ключицы / А.В. Ислентьев, Н.С. Стрелков, В.Д. Шарпарь, В.А. Степанов // Детская хирургия. - 2012. - № 1. - С. 4-7.
58. Тонин, М.С. Конечно-элементное моделирование деформационного поведения аппаратов остеосинтеза при лечении переломов ключицы / М.С. Тонин // Тезисы докладов XVIII сессии международной школы по моделям механики сплошной среды. - Саратов, 2007. - С. 107-108.

59. Тонин, М.С. Математическое моделирование аппаратов остеосинтеза при лечении переломов ключицы / М.С. Тонин, К.Г. Бутовский, О.В. Бейдик // Аспирантские чтения, вып. 1: матер. межрегион. конф., посвящ. 150-летию первого ректора Императорского Саратовского университета В.И. Разумовского. – Саратов: изд-во СарГМУ, 2007. – С. 200.

60. Тонких, С.А. Оптимизация остеосинтеза нестабильных переломов ключицы / автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.22 / Тонких Сергей Александрович. – Новосибирск, 2004. - 24 с.

61. Тонких, С.А. Причины неудовлетворительных исходов при внутреннем остеосинтезе переломов ключицы / С.А. Тонких, В.Э. Янковский, А.А. Коломиец // Гений ортопедии. - 2004. - № 1. - С. 114-117.

62. Тотальное удаление и пластика васкуляризированным фрагментом малоберцовой кости правой ключицы при гигантоклеточной опухоли / Б.Ш. Минасов, М.М. Валеев, Э.М. Бикташева [и др.] // Политравма. - 2017. - № 2. - С. 65-69.

63. Травматология: Национальное руководство / под ред. Г.П. Котельникова, С.П. Миронова. – М., 2008.

64. Фиксатор для внутрикостного остеосинтеза переломов ключицы / У.А. Абдуразаков, А.У. Абдуразаков, В.Р. Комник, Ж.А. Тажиев // Вестник Казахского Национального медицинского университета. - 2015. - № 1. - С. 320-322.

65. Чрескостный остеосинтез аппаратом Илизарова при повреждениях акромиального конца ключицы / И.И. Мартель, А.Г. Карасев, С.П. Бойчук [и др.] // Гений ортопедии. - 2013. - № 3. - С. 5-8.

66. Чрескостный остеосинтез при лечении нарушений консолидации переломов ключицы / В.А. Кирсанов, В.Е. Макаренченко, В.А. Ковалёв [и др.] // Здоровье. Медицинская экология. Наука. - 2012. - № 1-2 (47-48). - С. 87-88.

67. Штифт для ключицы Rockwood. Хирургическая техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.medimport.su/uploadfiles/good/77/Pin%0ST%20Brochure%20rus.pdf>

68. Щуров, В.А. Динамика функционального состояния больных в процессе лечения перелома ключицы методом чрескостного остеосинтеза / В.А. Щуров, Е.О. Дарвин // Травматология и ортопедия России. - 2013. - №1 (67). - С. 87-92.

69. Экспериментальное исследование вариантов остеосинтеза ключицы при ее переломах в средней трети / А.А. Тяжелов, М.Ю. Карпинский, Е.Д. Карпинская [и др.] // Травма. - 2014. - Т. 15, № 4. - С. 86-94.

70. Электрохимические аспекты имплантации металлоконструкций в травматологии и ортопедии / А.И. Анисимов, Н.В. Корнилов, А.В. Каныхин [и др.] // Шестой съезд травматологов и ортопедов России: тез. докл. – Нижний Новгород, 1997. – С. 359.

71. Якупов Р.Р. Исследование сегментарного и надсегментарного уровней нервно-мышечных поражений у лиц физического труда / Р.Р. Якупов, С.А. Галлямова, Р.Г. Нафиков // Медицина труда и промышленная экология. - 2010. - № 3. - С. 13-16.

72. A biomechanical comparison of four different fixation methods for midshaft clavicle fractures / Y. Chen, Y. Yang, X. Ma [et al.] // Proc. Inst. Mech. Eng. H. – 2016. – Vol. 230, № 1. – P. 13-9.

73. A comparison of clinical and radiological outcomes of minimally invasive and conventional plate osteosynthesis for midshaft clavicle fractures / J.Y. Kim, B.C. Yoo, J.P. Yoon [et al.] // Orthopedics. – 2018. – Vol. 41, № 5. – P. e649-e654.

74. Acute operative stabilization versus nonoperative management of clavicle fractures / D.B. Judd, M.P. Pallis, E. Smith, C.R. Bottoni // Am. J. Orthop. (Belle Mead. N.J). - 2009. - Vol. 38, № 7. - P. 341-5.

75. Acute subclavian artery occlusion with associated clavicle fracture managed with bypass graft alone / D.A.S. Buchanan, D. Owen, R. Angliss, D.N. McClure // BMJ Case Rep. – 2018. - Jun 28. - pii: bcr-2018-224719.

76. Ali Khan, M.A. Plating of fractures of the middle third of the clavicle / M.A. Ali Khan, H.K. Lucas // Injury. - 1978. - Vol. 9, № 4. - P. 263-7.

77. Allgower, M. A new plate for internal fixation--the dynamic compression plate (DCP) / M. Allgower, S. Perren, P. Matter // *Injury*. - 1970. - Vol. 2, № 1. - P. 40-7.

78. Anterior-inferior plate fixation of middle-third fractures and nonunions of the clavicle / C. Collinge, S. Devinney, D. Herscovici [et al.] // *J. Orthop. Trauma*. - 2006. - Vol. 20, № 10. - P. 680-6.

79. Anteroinferior 2.7-mm versus 3.5-mm plating of the clavicle: A biomechanical study / N. Pulos, R.S. Yoon, S. Shetye [et al.] // *Injury*. - 2016. - Vol. 47, № 8. - P. 1642-6.

80. Are clinical outcomes affected by type of plate used for management of mid-shaft clavicle fractures? / M.M. Alzahrani, A. Cota, K. Alkhelaifi [et al.] // *J. Orthop. Traumatol.* - 2018. - Vol. 19. - P. 8.

81. Biomechanical comparison of bicortical, unicortical, and unicortical far-cortex-abutting screw fixations in plated comminuted midshaft clavicle fractures / J.S. Croley, R.P. Morris, A. Amin [et al.] // *J. Hand Surg. Am.* - 2016. - Vol. 41, № 6. - P. 703-11.

82. Biomechanical comparison of three different plate configurations for comminuted clavicle midshaft fracture fixation / G. Uzer, F. Yildiz, S. Batar [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2017. - Vol. 26. - P. 2200-2205.

83. Biomechanical computer modeling of osteosynthesis techniques / O.V. Beidick, M.S. Tonin, K.K. Levchenko [et al.] // *Гений ортопедии*. - 2007. - № 4. - С. 89-92.

84. Brinker, M.R. Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture / M.R. Brinker, T.B. Edwards, D.P. O'Connor // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 2005. - Vol. 87, № 3. - P. 676-7.

85. Burnham, J.M. Midshaft clavicle fractures: a critical review / J.M. Burnham, D.C. Kim, S. Kamineni // *Orthopedics*. - 2016. - Vol. 39, № 5. - P. e814-21.

86. Chen, C.Y. Surgical treatment for distal clavicle fracture with coracoclavicular ligament disruption / C.Y. Chen, W.J. Chen, C.H. Shih // *J. Trauma.* – 2002. – Vol. 52, №1. – P. 72-78.

87. Chu, C.M. Fixation of mid-third clavicular fractures with Knowles pins: 78 patients followed for 2-7 years / C.M. Chu, S.J. Wang, L.C. Lin // *Acta Orthop. Scand.* - 2002. - Vol. 73, № 2. - P. 134-9.

88. Clavicular anatomy and the applicability of precontoured plates / J.I. Huang, P. Toogood, M.R. Chen [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 2007. - Vol. 89, № 10. – P. 2260-5.

89. Clinical comparison of two different plating methods in minimally invasive plate osteosynthesis for clavicular midshaft fractures: A randomized controlled trial / H.S. Sohn, M.S. Shon, K.H. Lee, S.J. Song // *Injury.* – 2015. – Vol 46, № 11. – P. 2230-8.

90. Clinical outcomes of midclavicular fractures treated with titanium elastic nails / Y.F. Chen, B.F. Zeng, Y.J. Chen [et al.] // *Can. J. Surg.* - 2010. - Vol. 53, № 6. – P. 379-84.

91. Comparative results of external fixation, plating or nonoperative management for diaphyseal clavicle fractures / B. Özkul, M.S. Saygılı, M. Dinçel [et al.] // *Med. Princ. Pract.* – 2017. – Vol. 26. – P. 458-63.

92. Comparison between locked intramedullary nailing and anatomical locking plating in the treatment of displaced clavicular midshaft fractures / S. Zehir, M. Çalbıyık, E. Şahin, D. İpek // *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* – 2016. – Vol. 50. – P. 291-7.

93. Comparison of simple arm sling and figure of eight clavicular bandage for midshaft clavicular fractures: a randomised controlled study / A. Ersen, A.C. Atalar, F. Birisik [et al.] // *Bone Joint J.* – 2015. – Vol. 97-B, № 11. – P. 1562-5.

94. Comparison of treatment of fracture midshaft clavicle in adults by external fixator with conservative treatment / A. Shukla, S. Sinha, G. Yadav, S. Beniwal // *J. Clin. Orthop. Trauma.* – 2014. – Vol. 5, № 3. – P. 123-8.

95. Comparisons of clinical effects among three kinds of treatments of 1/3 displaced midshaft clavicular fractures in adults / X.Z. Ma, B.S. Zhang, Z.D. Wang, M.Y. Wang // *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* – 2016. – Vol. 96, № 1. – P. 25-9.

96. Complications of clavicle fractures treated with intramedullary fixation / P.J. Millett, J.M. Hurst, M.P. Horan, R.J. Hawkins // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2011. - Vol. 20, № 1. - P. 86-91.

97. Complications of intramedullary Hagie pin fixation for acute midshaft clavicle fractures / E.J. Strauss, K.A. Egol, M.A. France [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2007. - Vol. 16, № 3. - P. 280-4.

98. Conceptual finite element study for comparison among superior, anterior, and spiral clavicle plate fixations for midshaft clavicle fracture / T.L. Huang, W.C. Chen, K.J. Lin [et al.] // *Med. Eng. Phys.* – 2016. – Vol. 38. – P. 1070-5.

99. Correlation of the degree of clavicle shortening after non-surgical treatment of midshaft fractures with upper limb function / G.S. Figueiredo, M.J. Tamaoki, B. Dragone [et al.] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2015. – Vol. 16. – P. 151.

100. Craig, E.V. Fractures of the clavicle / E.V. Craig // *Rockwood & Green's fractures in adults* / ed. by C.A. Rockwood, D.P. Green, R.W. Bucholz, J.D. Heckman. - Lippincott-Raven, 1996. - Vol. 1. - P. 1109-1161.

101. Current treatment concepts for mid-shaft fractures of the clavicle - results of a prospective multicentre study / J. Bohme, A. Bonk, G.O. Bacher [et al.] // *Z. Orthop. Unfall.* - 2011. - Vol. 149, № 1. - P. 68-76.

102. Dawson, J. Questionnaire on the perceptions of patients about shoulder surgery / J. Dawson, R. Fitzpatrick, A. Carr // *J. Bone Joint Surg. Br.* - 1996. - Vol. 78, № 4. - P. 593-600.

103. Deficits following nonoperative treatment of displaced midshaft clavicular fractures / M.D. McKee, E.M. Pedersen, C. Jones [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 2006. - Vol. 88, № 1. - P. 35-40.

104. Development of the Utrecht Score for clavicle fractures: a short and complete clavicle score with patient-reported and objective measures / M. Hulsmans, S. Ferree, M. Houwert [et al.] // *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.* – 2018. – Aug 9 [Epub ahead of print].

105. Die elastische stabile Marknagelung der Klavikulafraktur im mittleren Drittel / A. Jubel, A. Prokop, J. Kress, K.E. Rehm // *Hefte Unfallchir.* - 1998. – Bd. 272. – S. 738-39.

106. Displaced midshaft clavicle fracture in athletes - should we operate? / N.A.S.M. Souza, P.S. Belangero, E.A. Figueiredo [et al.] // *Rev. Bras. Ortop.* – 2018. – Vol. 53. –P. 171-175.

107. Effectiveness of anatomical locking plate internal fixation combined with coracoclavicular ligament reconstruction for Neer type II b distal clavicle fractures / H. Tang, Y. Yin, Q. Han [et al.] // *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* – 2018. – Vol. 32. – P. 1.

108. Effects of mechanical forces on maintenance and adaptation of form in trabecular bone / R. Huiskes, R. Ruimerman, G.H. van Lenthe, J.D. Janssen // *Nature.* - 2000. - Vol. 405, № 6787. - P. 704-6.

109. Effects of plate location and selection on the stability of midshaft clavicle osteotomies: a biomechanical study / M.R. Iannotti, L.A. Crosby, P. Stafford [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2002. - Vol. 11, № 5. - P. 457-62.

110. Elastic stable intramedullary nailing is best for mid-shaft clavicular fractures without comminution: results in 60 patients / V. Smekal, A. Irenberger, R.E. Attal [et al.] // *Injury.* - 2011. - Vol. 42, № 4. - P. 324-9.

111. Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures with a titanium nail / A. Jubel, J. Andermahr, G. Schiffer [et al.] // *Clin. Orthop. Relat. Res.* - 2003. - № 408. - P. 279-85.

112. Elastic stable intramedullary nailing versus nonoperative treatment of displaced midshaftclavicular fractures a randomized, controlled, clinical trial / V. Smekal, A. Irenberger, P. Struve [et al.] // *J. Orthop. Trauma.* - 2009. - Vol. 23, № 2. - P. 106-12.

113. Epidemiology of clavicle fractures / F. Postacchini, S. Gumina, P. De Santis, F. Albo // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2002. - Vol. 11, № 5. - P. 452-6.
114. Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture / C.M. Robinson, C.M. Court-Brown, M.M. McQueen, A.E. Wakefield // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 2004. - Vol. 86-A, № 7. - P. 1359- 65.
115. Examining the validity of pressure ulcer risk assessment scales: developing and using illustrated patient simulations to collect the data / D. Gould, D. Kelly, L. Goldstone, J. Gammon // *J. Clin. Nurs.* - 2001. - Vol. 10, № 5. - P. 697-706.
116. Finite element analysis of locking plate and two types of intramedullary nails for treating mid-shaft clavicle fractures / M. Ni, W. Niu, D.W. Wong [et al.] // *Injury.* – 2016. – Vol. 47, №8. – P. 1618-23.
117. Flexible intramedullary nailing for stabilization of displaced midshaft clavicle fractures: technique and results in 87 patients / M. Kettler, M. Schieker, V. Braunstein [et al.] // *Acta Orthop.* - 2007. - Vol. 78, № 3. - P. 424-9.
118. Foerster, D. Musculoskeletal images. Clavicular soft-tissue mass / D. Foerster, G.B. Black, K.G. Magnus // *Can. J. Surg.* - 2001. - Vol. 44, № 2. - P. 88-9.
119. Fracture and dislocation classification compendium - 2007: Orthopaedic Trauma Association classification, database and outcomes committee / J.L. Marsh, T.F. Slongo, J. Agel [et al.] // *J. Orthop. Trauma.* - 2007. - Vol. 21, № 10 (Suppl.). - P. S1-133.
120. Fracture and dislocation compendium. Orthopaedic trauma association Committee for coding and classification fracture and dislocation compendium // *J. Orthop. Trauma.* - 1996. - Vol. 10, Suppl. 1. - P. V-IX, 1-154.
121. Fracture fixation with two locking screws versus three non-locking screws: a biomechanical comparison in a normal and an osteoporotic bone model / B. Grawe, T. Le, S. Williamson [et al.] // *Bone Joint Res.* – 2012. – Vol. 1. – P. 118–124.

122. Fractures of the clavicle / L.A. Khan, T.J. Bradnock, C. Scott, C.M. Robinson // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 2009. - Vol. 91, № 2. - P. 447-60.
123. Fuglesang, H.F.S. Mini-invasive intramedullary fixation of displaced midshaft clavicle fractures with an elastic titanium nail / H.F.S. Fuglesang, M.A. Oksum, A.K.B. Wikerøy // *JBJS Essent. Surg. Tech.* - 2018. - Vol. 8. - P. e16.
124. Gadegone, W.M. Screw intramedullary elastic nail fixation in midshaft clavicle fractures: a clinical outcome in 36 patients / W.M. Gadegone, V. Lokhande // *Indian J. Orthop.* - 2018. - Vol. 52. - P. 322-327.
125. Geel, C.W. Scapula and clavicle / C.W. Geel // *AO principles of fracture management* / ed. by C.L. Colton [et al.]. - Stuttgart, New York: Thieme, 2000. - P. 261-262.
126. Gummesson, C. The disabilities of the arm, shoulder and hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery / C. Gummesson, I. Atroshi, C. Ekdahl // *BMC Musculoskelet Disord.* - 2003. - Vol. 4. - P. 11.
127. Harnroongroj, T. The clavicular fracture: a biomechanical study of the mechanism of clavicular fracture and modes of the fracture / T. Harnroongroj, C. Tantikul, S. Keatkor // *J. Med. Assoc. Thai.* - 2000. - Vol. 83, № 6. - P. 663-7.
128. Hill, J.M. Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results / J.M. Hill, M.H. McGuire, L.A. Crosby // *J. Bone Joint Surg. Br.* - 1997. - Vol. 79, № 4. - P. 537-9.
129. Hoofwijk, A.G. Conservative treatment of clavicular fractures / A.G. Hoofwijk, C. van der Werken // *Z. Unfallchir. Versicherungsmed. Berufskr.* - 1988. - Bd. 81, № 3. - S. 151-6.
130. Injuries of the posterior and lateral chest wall-importance of an additional clavicular fracture / A. Langenbach, S. Krinner, F.F. Hennig [et al.] // *Unfallchirurg.* - 2018. - Vol. 121, № 8. - P. 615-623.
131. Interventions for treating displaced midshaft clavicular fractures: a Bayesian network meta-analysis of randomized controlled trials / J. Wang, X.H. Meng, Z.M. Guo [et al.] // *Medicine (Baltimore).* - 2015. - Vol. 94. - P. e595.

132. Intramedullary fixation of diaphyseal clavicle fractures using the rockwood clavicle pin: review of 86 cases / W.J. Marlow, P. Ralte, S.P. Morapudi [et al.] // *Open Orthop. J.* - 2012. - Vol. 6. - P. 482-7.

133. Intramedullary nailing versus plate fixation for the treatment displaced midshaft clavicular fractures: a systematic review and meta-analysis / N. Hussain, C. Sermer, P.J. Prusick [et al.] // *Sci. Rep.* – 2016. – Vol. 6. – P. 34912.

134. Is there a deficit after nonoperative versus operative treatment of shortened midshaft clavicular fractures in adolescents? / J.A. Parry, M. Van Straaten, T.D. Luo [et al.] // *J. Pediatr. Orthop.* – 2017. – Vol. 37, № 4. – P. 227-233.

135. Kim, W. Management of acute clavicle fractures / W. Kim, M.D. McKee // *Orthop. Clin. North Am.* - 2008. - Vol. 39, № 4. - P. 491-505.

136. Kirsch, J.M. Distal clavicle fractures: open reduction and internal fixation with a hook plate / J.M. Kirsch, L. Blum, M.E. Hake // *J. Orthop. Trauma.* – 2018. – Vol. 32, Suppl. 1. – P. S2-S3.

137. Kulshrestha, V. Operative versus nonoperative management of displaced midshaft clavicle fractures: a prospective cohort study / V. Kulshrestha, T. Roy, L. Audige // *J. Orthop. Trauma.* - 2011. - Vol. 25, № 1. - P. 31-8.

138. Kuner, E.H. Surgical therapy of clavicular fractures, indications, technic, results / E.H. Kuner, W. Schlickewei, F. Mydla // *Hefte Unfallheilkd.* - 1982. - Bd. 160. - S. 76-83.

139. Larsen, C.G. A biomechanical and clinical comparison of midshaft clavicle plate fixation: are 2 screws as good as 3 on each side of the fracture? / C.G. Larsen, B. Sleasman, S.C. Chudik // *Orthop. J. Sports Med.* – 2017. – Vol. 5. – P. 9.

140. Lazarides, S. Conservative treatment of fractures at the middle third of the clavicle: the relevance of shortening and clinical outcome / S. Lazarides, G. Zafiropoulos // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2006. - Vol. 15, № 2. - P. 191-4.

141. Lazarus, M.D. Fractures of the clavicle / M.D. Lazarus, C. Seon // *Rockwood & Green's fractures in adults* / ed. by R.W. Bucholz, J.D. Heckman, C.

Court-Brown. - 6 ed. - Philadelphia: PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2006. – P. 1211-1255.

142. Linde, van der R.A. Plating for midshaft clavicular fractures: The impact on quality of life and functional outcome / R.A. van der Linde, I. Beetz, S.H. van Helden // *Injury*. – 2017. – Vol. 48. – P. 2778-2783.

143. Locked intramedullary fixation vs plating for displaced and shortened mid-shaft clavicle fractures: a randomized clinical trial / N.A. Ferran, P. Hodgson, N. Vannet [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2010. - Vol. 19, № 6. – P. 783-9.

144. Marz, J. Osteosynthesis of clavicle fractures - an overview of complications and causes of failure / J. Marz, Z. Klézl // *Acta Chir. Orthop. Traumatol. Cech.* – 2018. – Vol. 85, № 4. – P. 245-248.

145. Midclavicular fracture: not just a trivial injury: current treatment options / G. Schiffer, C. Faymonville, E. Skouras [et al.] // *Dtsch. Arztebl. Int.* - 2010. - Bd. 107, № 41. - S. 711-7.

146. Midshaft clavicular fractures: comparison of intramedullary pin and plate fixation / C.P. Kleweno, A. Jawa, J.H. Wells [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2011. - Vol. 20, № 7. - P. 1114-7.

147. Midshaft fractures of the clavicle with a shortening of more than 2 cm predispose to nonunion / M. Wick, E.J. Muller, E. Kollig, G. Muhr // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* - 2001. - Vol. 121, № 4. - P. 207-11.

148. Minimally invasive intramedullary nailing of midshaft clavicular fractures using titanium elastic nails / M. Mueller, C. Rangger, N. Striepens, C. Burger // *J. Trauma.* - 2008. - Vol. 64, № 6. - P. 1528-34.

149. Mirzatolooei, F. Comparison between operative and nonoperative treatment methods in the management of comminuted fractures of the clavicle / F. Mirzatolooei // *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* - 2011. - Vol. 45, № 1. - P. 34-40.

150. Mudd, C.D. Excessive complications of open intramedullary nailing of midshaft clavicle fractures with the Rockwood Clavicle Pin / C.D. Mudd, K.J. Quigley, L.B. Gross // *Clin. Orthop. Relat. Res.* - 2011. - Vol. 469, № 12. - P. 3364-70.

151. Mullaji, A.B. Low-contact dynamic compression plating of the clavicle / A.B. Mullaji, J.B. Jupiter // *Injury*. - 1994. - Vol. 25, № 1. - P. 41-5.
152. Mullick, S. Treatment of mid-clavicular fractures / S. Mullick // *Lancet*. - 1967. - № 289. – P. 499.
153. Neer, C.S. Fracture of the distal clavicle with detachment of the coraco-clavicular ligaments in adults / C.S. Neer // *J. Trauma*. - 1963. - Vol. 3. - P. 99-110.
154. Neer, C.S. Nonunion of the clavicle / C.S. Neer // *J. Am. Med. Assoc.* - 1960. - Vol. 172. - P. 1006-11.
155. Neviaser, R.J. A simple technique for internal fixation of the clavicle. A long term evaluation / R.J. Neviaser, J.S. Neviaser, T.J. Neviaser // *Clin. Orthop. Relat. Res.* - 1975. - № 109. - P. 103-7.
156. Ngarmukos, C. Fixation of fractures of the midshaft of the clavicle with Kirschner wires. Results in 108 patients / C. Ngarmukos, V. Parkpian, A. Patradul // *J. Bone Joint Surg. Br.* - 1998. - Vol. 80, № 1. - P. 106-8.
157. Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial / Canadian Orthopaedic Trauma Society // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 2007. - Vol. 89, № 1. - P. 1- 10.
158. Non-union of fractures of the mid-shaft of the clavicle. Treatment with a modified Hagie intramedullary pin and autogenous bone-grafting / D. Boehme, R.J. Curtis Jr., J.T. DeHaan [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 1991. - Vol. 73, № 8. - P. 1219-26.
159. Nordqvist, A. Mid-clavicle fractures in adults: end result study after conservative treatment / A. Nordqvist, C.J. Petersson, I. Redlund-Johnell // *J. Orthop. Trauma*. - 1998. - Vol. 12, № 8. - P. 572-6.
160. Nordqvist, A. The incidence of fractures of the clavicle / A. Nordqvist, C. Petersson // *Clin. Orthop Relat. Res.* - 1994. - № 300. - P. 127-32.
161. Normalization of the Constant score / L.I. Katolik, A.A. Romeo, B.J. Cole [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2005. – Vol. 14, № 3. - P. 279-85.

162. Nowak, J. The aetiology and epidemiology of clavicular fractures. A prospective study during a two-year period in Uppsala, Sweden / J. Nowak, H. Mallmin, S. Larsson // *Injury*. - 2000. - Vol. 31, № 5. - P. 353-8.

163. Operative and nonoperative treatment of clavicle fractures in adults / K.J. Virtanen, A.O. Malmivaara, V.M. Remes, M.P. Paavola // *Acta Orthop*. - 2012. - Vol. 83, № 1. - P. 65-73.

164. Operative cost comparison: plating versus intramedullary fixation for clavicle fractures / A.E. Hanselman, T.R. Murphy, G.K. Bal, E.B. McDonough // *Orthopedics*. - 2016. - Vol. 39, № 5. - P. e877-82.

165. Operative treatment of midclavicular fractures in 62 elderly patients: knowles pin versus plate / Y.S. Lee, C.C. Lin, C.R. Huang [et al.] // *Orthopedics*. - 2007. - Vol. 30, № 11. - P. 959-64.

166. Pai, H.T. Surgical treatment of midclavicular fractures in the elderly: a comparison of locking and nonlocking plates / H.T. Pai, Y.S. Lee, C.Y. Cheng // *Orthopedics*. - 2009. - Vol. 32, № 4. - P. ii.

167. Percutaneous plate osteosynthesis for clavicular fractures. Initial description / J. Andermahr, C. Faymonville, K.E. Rehm, A. Jubel // *Unfallchirurg*. - 2008. - Bd. 111, № 1. - S. 43-5.

168. Petracic, B. Efficiency of a rucksack bandage in the treatment of clavicle fractures / B. Petracic // *Unfallchirurgie*. - 1983. - Vol. 9, № 1. - P. 41-3.

169. Plattenosteosynthese der Klavikula / K. Kremer, W. Lierse, W. Platzer [et al.] // *Chirurgische Operationslehre* / ed. by K. Kremer [et al.]. - Stuttgart, 1994. - S. 134-51.

170. Poigenfurst, J. Plating of fresh clavicular fractures. Experience with 60 operations / J. Poigenfurst, T. Reiler, W. Fischer // *Unfallchirurgie*. - 1988. - Vol. 14, № 1. - P. 26-37.

171. Post-operative numbness and patient satisfaction following plate fixation of clavicular fractures / K. Wang, A. Dowrick, J. Choi [et al.] // *Injury*. - 2010. - Vol. 41, № 10. - P. 1002-5.

172. Preston, C.F. Midshaft clavicle fractures in adults / C.F. Preston, K.A. Egol // Bull. NYU Hosp. Jt. Dis. - 2009. - Vol. 67, № 1. - P. 52-7.

173. Reconstruction of shoulder-girdle symmetry after midclavicular fractures. Stable, elastic intramedullary pinning versus rucksack bandage / A. Jubel, J. Andermahr, C. Faymonville [et al.] // Chirurg. – 2002. – Vol. 73. – P. 978-81.

174. Reconstruction plates for midshaft clavicular fractures: A retrospective cohort study / S. Woltz, J.W. Duijff, J.M. Hoogendoorn [et al.] // Orthop. Traumatol. Surg. Res. – 2016. – Vol. 102, № 1. – P. 25-9.

175. Rehm, K. Die intramedulläre Osteosynthese der Klavikula mit einem elastischen Titannagel / K. Rehm, J. Andermahr, A. Jubel // Operative Orthopädie und Traumatologie. - 2004. - Bd. 16, № 4. - S. 365-379.

176. Robinson, C.M. Fractures of the clavicle in the adult. Epidemiology and classification / C.M. Robinson // J. Bone Joint Surg. Br. - 1998. - Vol. 80, № 3. - P. 476-84.

177. Rowe, C.R. An atlas of anatomy and treatment of midclavicular fractures / C.R. Rowe // Clin. Orthop. Relat. Res. - 1968. - Vol. 58. - P. 29-42.

178. Safe intramedullary fixation of displaced midshaft clavicle fractures with 2.5mm Kirschner wires - technique description and a two-part versus multifragmentary fracture fixation outcome comparison / B. Bakota, G. Chan, M. Staresinic [et al.] // Injury. – 2017. – Vol. 48, Suppl. 5. – P. S27-S33.

179. Sethi, G.K. Subclavian artery laceration due to migration of a Hagie pin / G.K. Sethi, S.M. Scott // Surgery. - 1976. - Vol. 80, № 5. - P. 644-6.

180. Shen, J.W. A three-dimensional reconstruction plate for displaced midshaft fractures of the clavicle / J.W. Shen, P.J. Tong, H.B. Qu // J. Bone Joint Surg. Br. - 2008. - Vol. 90, № 11. - P. 1495-8.

181. Significant pain reduction and improved functional outcome after surgery for displaced midshaft clavicular fractures / L. Eden, D. Ziegler, F. Gilbert [et al.] // J. Orthop. Surg. Res. – 2015. – Vol. 10. – P. 190.

182. Skedros, J.G. Modeling and remodeling in a developing artiodactyl calcaneus: a model for evaluating Frost's Mechanostat hypothesis and its corollaries / J.G. Skedros, M.W. Mason, R.D. Bloebaum // *Anat. Rec.* - 2001. - Vol. 263, № 2. - P. 167-185.

183. Stanley, D. Recovery following fractures of the clavicle treated conservatively / D. Stanley, S.H. Norris // *Injury.* - 1988. - Vol. 19, № 3. - P. 162-164.

184. Supplementary technique for unstable clavicle shaft fractures: interfragmentary wiring and temporary Axial K-Wire Pinning / J. Dan, B.K. Kim, H.J. Lee [et al.] // *Clin Orthop Surg.* – 2018. – Vol. 2. №10. – P. 142-148.

185. Surgical approach for open reduction and internal fixation of clavicle fractures: a comparison of vertical and horizontal incisions / O. Chechik, R. Batash, Y. Goldstein [et al.] // *Int. Orthop.* – 2018. - Sep 5 [Epub ahead of print].

186. Surgical fixation of midshaft clavicle fractures: A systematic review of biomechanical studies / M.H. Hulsmans, M. van Heijl, R.M. Houwert [et al.] // *Injury.* – 2018. – Vol. 49. – P. 753-765.

187. Surgical treatment of midclavicular fractures: a prospective comparison of Knowles pinning and plate fixation / Y.S. Lee, H.L. Huang, T.Y. Lo [et al.] // *Int. Orthop.* - 2008. - Vol. 32, № 4. - P. 541-5.

188. Surgical treatment of midshaft clavicular fractures using intramedullary nail / M. Vlček, M. Niedoba, J. Jakubička [et al.] // *Rozhl. Chir.* – 2018. – Vol. 97, № 4. – P. 176-188.

189. Surgical versus nonsurgical treatment for midshaft clavicle fractures in patients aged 16 years and older: a systematic review, meta-analysis, and comparison of randomized controlled trials and observational studies / D.P.J. Smeeing, D.J.C. van der Ven, F. Hietbrink [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2017. – Vol. 45. – P. 1937-1945.

190. Sutherland, A.G. Bilateral fractured clavicles a pair of cases / A.G. Sutherland, D.J. Knight // *Acta Orthop. Belg.* – 2000. – Vol. 66, № 3. – P.306-307.

191. Technique of intramedullary osteosynthesis of the clavicle with elastic titanium nails / A. Jubel, J. Andermahr, G. Schiffer, K.E. Rehm // *Unfallchirurg.* - 2002. - Vol. 105, № 6. - P. 511-6.
192. The challenging management of a delayed union midshaft clavicle fracture complicated by an acute pseudoaneurysm of the subclavian artery in a superelderly diabetic patient / C. Biz, J. Tagliapietra, A. Angelini [et al.] // *Aging Clin. Exp. Res.* – 2018. - Jun 27 [Epub ahead of print].
193. The distributed pattern of the neurovascular structures around clavicle to minimize structural injury in clinical field: anatomical study / A. Jeon, C.M. Seo, J.H. Lee, S.H. Han // *Surg. Radiol. Anat.* – 2018. - Aug 27 [Epub ahead of print].
194. Titanium elastic nail versus plate fixation of displaced midshaft clavicle fractures: a retrospective comparison study / Y.C. Wang, Y.C. Fu, S.H. Chou [et al.] // *Kaohsiung J. Med. Sci.* – 2015. – Vol. 31, № 9. – P. 473-9.
195. Treatment of acute midshaft clavicle fractures: systematic review of 2144 fractures: on behalf of the Evidence-Based Orthopaedic Trauma Working Group / M. Zlowodzki, B.A. Zelle, P.A. Cole [et al.] // *J. Orthop. Trauma.* - 2005. - Vol. 19, № 7. - P. 504-7.
196. Treatment of mid-clavicular fractures in adults. Early results after rucksack bandage or elastic stable intramedullary nailing / A. Jubel, J. Andermahr, A. Prokop [et al.] // *Unfallchirurg.* - 2005. – Vol. 108, № 9. - P. 707-14.
197. Treatment of midclavicular nonunion: comparison of dynamic compression plating and low-contact dynamic compression plating techniques / S. Kabak, M. Halici, M. Tuncel [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2004. - Vol. 13, № 4. - P. 396-403.
198. Treatment of unstable distal clavicle fractures with Knowles pin / I.M. Jou, E.P. Chiang, C.J. Lin [et al.] // *J. Shoulder Elbow Surg.* - 2011. - Vol. 20, № 3. - P. 414-9.

199. Vascular anatomical basis of clavicular non-union / E. Havet, F. Duparc, A.C. Tobenas-Dujardin [et al.] // *Surg. Radiol. Anat.* - 2008. - Vol. 30, № 1. - P. 23-8.

200. Wallace, W.A. Improving radiographs of the injured shoulder / W.A. Wallace, M. Hellier // *Radiography.* – 1983. - Vol.49. - P. 229-33.

201. Weise, K. Schultergertel und Schultergelenk: Frakturen / K. Weise // *Chirurgie. Schnitt für Schnitt* / ed. by A. Hirner, K. Weise. - Stuttgart, New York: Thieme- Verlag, 2004. – S. 277.

202. You, J.M. Comparison of post-operative numbness and patient satisfaction using minimally invasive plate osteosynthesis or open plating for acute displaced clavicular shaft fractures / J.M. You, Y.S. Wu, Y. Wang // *Int. J. Surg.* – 2018. – Vol. 56. – P. 21-25.

203. Zenni Jr., E.J. Open reduction and internal fixation of clavicular fractures / E.J. Zenni Jr., J.K. Krieg, M.J. Rosen // *J. Bone Joint Surg. Am.* - 1981. - Vol. 63, № 1. – P. 147- 51.