

НАО «Медицинский университет Астана»

УДК: 616.71-001.5-089:615.825

МПК: А61В17/56; А61Н23/00

Даниленко Станислав Викторович

**УДАРНО-ВОЛНОВАЯ ТЕРАПИЯ КАК КОМПОНЕНТ
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИ
ЗАМЕДЛЕННОМ СРАСТАНИИ ПЕРЕЛОМОВ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ**

7М10102 «Медицина»

Диссертация на соискание академической степени
магистра медицинских наук

Научный руководитель: д.м.н., доцент, Сливкина Наталья Владимировна
Официальный рецензент: PhD, Атепилева Алия Мухтаровна

Астана 2026

СОДЕРЖАНИЕ

	НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
	ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
	ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
	СПИСОК ТАБЛИЦ И РИСУНКОВ	7
	ВВЕДЕНИЕ	8
1	СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗАМЕДЛЕННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ПЕРЕЛОМОВ И ПРИМЕНЕНИИ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ	12
1.1	Понятие замедленной консолидации переломов и несращения	12
1.2	Биологические и механические причины нарушения костного сращения	13
1.3	Современные методы лечения замедленной консолидации и несращения переломов	14
1.4	Реабилитация пациентов с нарушением костной консолидации	16
1.5	Биологические механизмы действия экстракорпоральной ударно-волновой терапии	17
1.6	Клиническое применение ЭУВТ при замедленной консолидации, несращении переломов и нарушении формирования костного регенерата	18
1.7	Нерешённые вопросы применения ЭУВТ в комплексной реабилитации	20
2	МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	22
2.1	Дизайн исследования	22
2.2	База проведения исследования	23
2.3	Материалы исследования и характеристика пациентов	23
2.4	Критерии включения и исключения	25
2.5	Индивидуальная программа реабилитации	26
2.6	Протокол экстракорпоральной ударно-волновой терапии	27
2.7	Методы оценки клинических, функциональных и лучевых исходов	28
2.8	Клинико-рентгенологическая оценка консолидации	30
2.9	Исходы исследования	31
2.10	Статистическая обработка данных	32
3	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	37

3.1	Структура анализируемых данных	37
3.2	Общая характеристика пациентов	38
3.3	Локализация нарушения костной консолидации	38
3.4	Характеристика курса ЭУВТ	39
3.5	Динамика болевого синдрома	41
3.6	Клинико-рентгенологическая оценка консолидации	42
3.7	Функциональная динамика	43
3.8	Сравнительная оценка клинико-рентгенологических результатов основной и контрольной групп	45
3.9	Переносимость экстракорпоральной ударно-волновой терапии	46
3.10	Обсуждение результатов исследования	46
3.11	Клинические наблюдения	47
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
	ВЫВОДЫ	53
	ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	54
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	56
	ПРИЛОЖЕНИЯ	

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

1. Закон Республики Казахстан «Об образовании».
2. Закон Республики Казахстан «О науке и технологической политике».
3. Приказ Министра науки и высшего образования Республики Казахстан от 20 июля 2022 года №2 «Об утверждении государственных общеобязательных стандартов высшего и послевузовского образования».
4. Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 4 июля 2022 года № ҚР ДСМ-63 «Об утверждении государственных общеобязательных стандартов по уровням образования в области здравоохранения».
5. Приказ Министра науки и высшего образования Республики Казахстан от 05 января 2024 года №4 «Об утверждении квалификационных требований, предъявляемых к образовательной деятельности организаций, предоставляющих высшее и (или) послевузовское образование».
6. ПЛ-МУА-121-23 «Положение об обучении в магистратуре».
7. РИ-МУА-18-24 «Рабочая инструкция по требованиям к содержанию, оформлению и защите магистерской диссертации и проекта».
8. ПЛ-МУА-130-23 «Об использовании автоматизированной системы для обнаружения плагиата и проверки текстов на заимствования».
9. Кодекс Республики Казахстан «О здоровье народа и системе здравоохранения»
10. Хельсинкская декларация Всемирной медицинской ассоциации
11. Правила проведения клинических исследований в Республике Казахстан - Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 11 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-248/2020
12. ГОСО высшего и послевузовского образования Республики Казахстан.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Замедленное сращение перелома — нарушение процессов консолидации костной ткани, при котором отсутствует полноценное сращение перелома в ожидаемые физиологические сроки при сохранении признаков репаративного процесса.

Репаративный остеогенез — процесс восстановления костной ткани после повреждения, включающий воспалительную фазу, формирование костной мозоли и ремоделирование.

Консолидация перелома — процесс формирования костного сращения с восстановлением механической прочности кости.

Костный регенерат — вновь образованная костная ткань, формирующаяся в процессе репаративного остеогенеза или дистракционного остеогенеза.

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия (ЭУВТ) — метод лечения, основанный на воздействии акустических волн высокой интенсивности на ткани организма с целью стимуляции репаративных процессов.

Радиальная ударно-волновая терапия — разновидность ЭУВТ, при которой акустическая волна распространяется радиально с постепенным снижением энергии в глубину тканей.

Фокусированная ударно-волновая терапия — разновидность ЭУВТ, при которой максимальная энергия концентрируется в заданной глубине тканей.

Механотрансдукция — процесс преобразования механического воздействия в клеточный биологический ответ.

Ангиогенез — процесс образования новых кровеносных сосудов в тканях.

Кинезитерапия — метод реабилитации, основанный на использовании дозированных физических упражнений с лечебной целью.

Лечебная физкультура (ЛФК) — комплекс физических упражнений, применяемых для восстановления функции органов и систем организма.

Визуально-аналоговая шкала (ВАШ) — субъективная шкала оценки интенсивности боли, представленная в виде линейной градации от отсутствия боли до максимально выраженной боли.

Шкала Борга — шкала субъективной оценки переносимости физической нагрузки и уровня утомления пациента.

Гониометрия — метод измерения объема движений в суставах с использованием угломерных инструментов.

PSFS (Patient-Specific Functional Scale) — пациент-ориентированная шкала оценки функциональных ограничений при выполнении индивидуально значимых действий.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ЭУВТ	экстракорпоральная ударно-волновая терапия.
ВАШ	визуально-аналоговая шкала.
ЛФК	лечебная физкультура.
ESWT	extracorporeal shock wave therapy.
PRP	platelet-rich plasma.
FDA	Food and Drug Administration
PSFS	Patient-Specific Functional Scale
VEGF	vascular endothelial growth factor
BMP	bone morphogenetic protein
TGF- β	transforming growth factor beta
MSC	mesenchymal stem cells
LIPUS	low-intensity pulsed ultrasound
BMAC	bone marrow aspirate concentrate
delayed union	замедленная консолидация перелома
nonunion	несращение перелома

СПИСОК ТАБЛИЦ И РИСУНКОВ

Таблица 2.1 Сравнительная характеристика пациентов	24
Таблица 2.2 Распределение пациентов по локализации перелома.....	24
Таблица 2.3 Сравнительная характеристика методов оперативного лечения.....	25
Таблица 3.1 Полнота анализируемых данных	37
Таблица 3.2 Характеристика курса ЭУВТ у пациентов основной группы.....	40
Таблица 3.3 Динамика болевого синдрома по ВАШ.....	42
Таблица 3.4 Клинико-рентгенологические результаты лечения.....	43
Таблица 3.5 Динамика функциональных показателей в основной и контрольной группах.....	44
Рисунок 3.1 Распределение пациентов по локализации нарушения костной консолидации.....	39
Рисунок 3.2 Индивидуальное распределение количества процедур ЭУВТ	41
Рисунок 3.3 Сравнительные результаты лечения	45
Рисунок 3.4 Замедленная консолидация ББЦ и МБЦ костей.....	48
Рисунок 3.5 Замедленная консолидация большеберцовой кости с достижением консолидации.....	49
Рисунок 3.6 Частичная консолидация большеберцовой кости.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Замедленная консолидация переломов остаётся одной из наиболее сложных проблем современной травматологии, ортопедии и медицинской реабилитации. Нарушение процессов костного сращения сопровождается длительным болевым синдромом, ограничением функции конечности, снижением переносимости физической нагрузки и увеличением сроков восстановления пациентов. В ряде случаев это приводит к длительной утрате трудоспособности, необходимости повторных хирургических вмешательств и существенному ухудшению качества жизни пациентов [1, 2].

Особое значение проблема приобретает после хирургического лечения переломов, реконструктивных вмешательств, удлинения конечностей и билокального остеосинтеза. В подобных ситуациях восстановление определяется не только стабильностью фиксации костных фрагментов, но и состоянием мягких тканей, выраженностью болевого синдрома, качеством кровоснабжения и возможностью проведения полноценной реабилитации [3].

Современные подходы к лечению нарушений костной консолидации направлены на восстановление механических и биологических условий репаративного остеогенеза. При выраженной нестабильности, значительном костном дефекте, инфекционном процессе или атрофическом типе несращения основным методом лечения остаётся хирургическая коррекция. Однако повторные оперативные вмешательства сопровождаются дополнительной травматизацией тканей, увеличением риска осложнений и удлинением сроков реабилитации [4, 5]. Это объясняет высокий интерес к дополнительным методам стимуляции костной регенерации, которые могут применяться без повторного хирургического вмешательства.

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия рассматривается как один из перспективных неинвазивных методов физического воздействия на зону нарушенного костного сращения. В экспериментальных и клинических исследованиях описаны её потенциальные биологические эффекты, включающие стимуляцию микроциркуляции, ангиогенеза, активности остеобластов, дифференцировки мезенхимальных клеток и процессов ремоделирования костной ткани [6–8]. Эти механизмы создают патофизиологическое обоснование применения ЭУВТ при замедленной консолидации переломов и нарушении формирования костного регенерата.

В последние годы опубликован ряд систематических обзоров и клинических исследований, посвящённых применению ЭУВТ при замедленно срастающихся и несрастающихся переломах длинных костей. Согласно данным систематического обзора и метаанализа Sansone и соавт., консолидация после применения ЭУВТ была достигнута примерно у 73% пациентов с несращениями длинных костей [9]. Willems и соавт. также сообщают о высоких показателях консолидации при

замедленно срастающихся и послеоперационных несрастающихся переломах [10]. Вместе с тем большинство исследований посвящено преимущественно фокусированной ЭУВТ, тогда как данные о применении радиальной ЭУВТ при нарушениях костного сращения остаются ограниченными.

Клинические результаты ЭУВТ зависят от исходного состояния зоны несращения. В исследовании К.Т. Wu и соавт. было показано, что менее благоприятные результаты наблюдаются у пациентов с атрофическим типом несращения, большим межфрагментарным промежутком и несколькими предшествующими хирургическими вмешательствами [11]. Эти данные подчёркивают, что ЭУВТ не должна рассматриваться как универсальный метод лечения всех вариантов нарушения костного сращения.

Отдельного внимания заслуживает сочетание ЭУВТ с активными реабилитационными программами. Современная концепция регенеративной реабилитации предполагает комплексный подход, включающий не только стимуляцию костной ткани, но и восстановление функции конечности, переносимости нагрузки, объёма движений и двигательной активности пациента [12, 13]. В исследовании Q. Yang и соавт. изучалось применение ЭУВТ в сочетании с кинезитерапией у пациентов с замедленным сращением переломов костей голени [14]. Значимость данной работы состоит в том, что ЭУВТ оценивалась не изолированно, а как компонент комплексной программы реабилитации с функциональным сопровождением пациентов.

В Республике Казахстан последствия травм опорно-двигательного аппарата сохраняют высокую медицинскую и социальную значимость. Значительная часть пациентов с переломами длинных костей нуждается в хирургическом лечении и последующей медицинской реабилитации, что делает актуальным поиск безопасных, воспроизводимых и клинически обоснованных методов стимуляции костного сращения [15].

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется необходимостью оценки эффективности экстракорпоральной ударно-волновой терапии как компонента индивидуальной программы реабилитации у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и костных регенератов. Особое значение имеет комплексная оценка не только рентгенологической консолидации, но и динамики болевого синдрома, функционального состояния, объёма движений и переносимости физической нагрузки.

Для сравнительной оценки результатов были сформированы основная и контрольная группы пациентов: основная группа, получавшая радиальную экстракорпоральную ударно-волновую терапию в дополнение стандартной программы реабилитации, и контрольная группа, проходившая стандартную программу реабилитации без применения ЭУВТ. Сравнительный анализ клинико-рентгенологических и функциональных исходов позволил оценить влияние

включения ЭУВТ в комплексную программу медицинской реабилитации пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повысить эффективность лечения пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей за счёт включения экстракорпоральной ударно-волновой терапии в индивидуальные программы реабилитации.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Определить и оценить на основании реабилитационных шкал и клинико-рентгенологических методов исследования основные функциональные показатели пациентов при консервативном лечении замедленно срастающихся переломов трубчатых костей.
2. Провести мониторинг основных показателей функционирования на фоне проводимых реабилитационных мероприятий с использованием экстракорпоральной ударно-волновой терапии.
3. Разработать и оценить эффективность индивидуальных программ реабилитации пациентов при консервативном лечении замедленно срастающихся переломов трубчатых костей с использованием экстракорпоральной ударно-волновой терапии.

Объект исследования

Пациенты в возрасте от 18 до 63 лет с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и костных регенератов после хирургического лечения, проходившие стандартную медицинскую реабилитацию с применением экстракорпоральной ударно-волновой терапии либо стандартную программу реабилитации без использования ЭУВТ.

Предмет исследования

Клинико-рентгенологические и функциональные результаты применения экстракорпоральной ударно-волновой терапии в индивидуальной программе реабилитации в сравнении со стандартной реабилитацией.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Впервые в условиях реабилитационного центра Республики Казахстан проведена сравнительная оценка применения радиальной ЭУВТ в составе индивидуальной программы реабилитации у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей по сравнению со стандартной реабилитацией.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Практическая значимость исследования заключается в разработке подходов к отбору пациентов для применения экстракорпоральной ударно-волновой терапии и формировании рекомендаций по клинικο-рентгенологическому мониторингу пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и костных регенератов.

Полученные результаты могут быть использованы травматологами-ортопедами, врачами физической и реабилитационной медицины, физиотерапевтами и специалистами мультидисциплинарной реабилитационной команды для повышения эффективности медицинской реабилитации пациентов с нарушением костной консолидации.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Оценка эффективности применения экстракорпоральной ударно-волновой терапии при замедленно срастающихся переломах трубчатых костей должна включать не только рентгенологическую оценку консолидации, но и анализ болевого синдрома, функционального состояния, объёма движений и переносимости физической нагрузки.
2. Включение экстракорпоральной ударно-волновой терапии в программу медицинской реабилитации сопровождается более выраженной положительной динамикой клинικο-рентгенологических и функциональных показателей по сравнению со стандартной реабилитацией.
3. Программа медицинской реабилитации пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей с применением экстракорпоральной ударно-волновой терапии должна формироваться с учётом локализации повреждения, срока нарушения консолидации, выраженности болевого синдрома, функциональных ограничений, стабильности фиксации и данных лучевой диагностики.

Объём и структура диссертации

Магистерская диссертация изложена на 59 страницах машинописного текста без учёта приложений. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка использованных источников и приложений. Работа включает в себя 8 таблиц и 6 рисунков.

1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗАМЕДЛЕННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ ПЕРЕЛОМОВ И ПРИМЕНЕНИИ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Понятие замедленной консолидации переломов и несращения

Замедленная консолидация перелома представляет собой нарушение нормальных сроков формирования костного сращения при сохранении признаков репаративного остеогенеза. Несмотря на продолжающиеся процессы костной регенерации, полноценная консолидация в ожидаемые физиологические сроки не достигается [1, 2].

В современной литературе отсутствует единый подход к определению сроков замедленной консолидации и несращения переломов. Согласно данным систематических обзоров, наиболее часто замедленно срастающимся переломом считают отсутствие достаточной рентгенологической динамики через 3–6 месяцев после травмы, тогда как несращение диагностируется при отсутствии признаков консолидации в течение 6–9 месяцев [9, 10].

Нарушение процессов костного сращения может развиваться как после консервативного, так и после хирургического лечения переломов. Особое значение проблема приобретает при лечении переломов длинных трубчатых костей, высокоэнергетических повреждений, открытых переломов, а также после реконструктивных вмешательств и биолокального остеосинтеза [1, 4].

В основе замедленной консолидации лежит нарушение биологических и механических условий репаративного остеогенеза. Существенное значение имеют нестабильность фиксации, нарушение кровоснабжения, интерпозиция мягких тканей, инфекционные осложнения, значительный костный дефект, курение, метаболические нарушения и сопутствующие заболевания [5, 17].

В клинической практике оценка замедленной консолидации и несращения должна основываться не только на сроках после травмы, но и на совокупности клинических и лучевых признаков. К ним относятся наличие боли при нагрузке, функциональных ограничений, сохранение линии перелома, недостаточное формирование костной мозоли и отсутствие положительной рентгенологической динамики при повторном наблюдении [16].

В ряде случаев нарушение консолидации сопровождается формированием патологически изменённого костного регенерата. Подобные изменения могут наблюдаться после удлинения конечностей, реконструктивных операций и применения аппаратов внешней фиксации. При этом нарушение созревания костного регенерата сопровождается снижением механической прочности костной ткани и увеличением сроков реабилитации [3, 5].

Современные классификации несращений учитывают как биологические, так и механические особенности зоны повреждения. Наиболее распространённым является разделение несращений на гипертрофические, олиготрофические и атрофические формы. Гипертрофические несращения характеризуются сохранённым биологическим потенциалом при недостаточной стабильности фиксации, тогда как атрофические формы сопровождаются выраженным нарушением репаративных процессов и снижением остеогенной активности тканей [4, 10].

Понимание механизмов формирования замедленной консолидации и несращения имеет принципиальное значение для выбора тактики лечения и построения программ медицинской реабилитации пациентов с нарушением костного сращения.

1.2. Биологические и механические причины нарушения костного сращения

Репаративный остеогенез представляет собой сложный многоэтапный процесс, включающий воспалительную фазу, формирование мягкой и твёрдой костной мозоли, а также последующее ремоделирование костной ткани [5, 18]. Для полноценной консолидации перелома необходимо сочетание благоприятных биологических и механических условий.

Одной из ключевых причин нарушения костного сращения является недостаточная механическая стабильность зоны перелома. Избыточная микроподвижность костных фрагментов приводит к нарушению формирования костной мозоли и замедлению процессов минерализации. В то же время чрезмерно жёсткая фиксация также способна отрицательно влиять на репаративный остеогенез вследствие недостаточной физиологической механической стимуляции тканей [3, 18].

Существенное значение в развитии замедленной консолидации имеют нарушения кровоснабжения и микроциркуляции в области перелома. Повреждение сосудистой сети сопровождается снижением доставки кислорода, факторов роста и клеточных элементов, участвующих в процессах регенерации [17, 19].

В современной литературе большое внимание уделяется механотрансдукции — процессу преобразования механического воздействия в клеточный биологический ответ. Механическая стимуляция способна активировать экспрессию факторов роста, усиливать пролиферацию остеобластов, стимулировать ангиогенез и процессы ремоделирования костной ткани [3, 6, 8].

К биологическим факторам риска нарушения костного сращения относятся инфекционные осложнения, выраженный костный дефект, курение, сахарный диабет, метаболические нарушения, остеопороз, дефицит витамина D и снижение

остеогенного потенциала тканей [1, 17]. Отдельное значение имеют повторные хирургические вмешательства, сопровождающиеся дополнительной травматизацией мягких тканей и ухудшением локального кровоснабжения [11].

Согласно концепции «diamond concept», предложенной P.V. Giannoudis и соавт., успешная консолидация перелома требует сочетания нескольких ключевых компонентов: механической стабильности, остеогенных клеток, остеокондуктивного матрикса, факторов роста и адекватной васкуляризации тканей [5]. Нарушение любого из этих компонентов может приводить к замедленному сращению или формированию несращения.

В последние годы активно изучается роль мезенхимальных стромальных клеток, факторов ангиогенеза и локальных сигнальных путей в регуляции костной регенерации [7, 13, 14]. Показано, что снижение активности остеобластов, нарушение дифференцировки мезенхимальных клеток и хроническое воспаление способны существенно замедлять процессы репаративного остеогенеза.

Таким образом, развитие замедленной консолидации переломов имеет многофакторный характер и связано с сочетанием механических, сосудистых, клеточных и метаболических нарушений. Понимание этих механизмов имеет принципиальное значение для выбора методов стимуляции костной регенерации и построения комплексных программ медицинской реабилитации.

1.3. Современные методы лечения замедленной консолидации и несращения переломов

Лечение замедленно срастающихся и несрастающихся переломов остаётся одной из наиболее сложных задач современной травматологии и ортопедии. Выбор тактики лечения зависит от локализации повреждения, типа несращения, состояния мягких тканей, стабильности фиксации, выраженности костного дефекта, наличия инфекционного процесса и общего состояния пациента [4, 17].

При выраженной механической нестабильности, значительном костном дефекте, инфекционных осложнениях или атрофическом типе несращения основным методом лечения остаётся хирургическая коррекция. Наиболее часто применяются повторный остеосинтез, костная пластика, компрессионный остеосинтез, замена фиксаторов и методы реконструктивной хирургии [20, 21].

Одним из современных направлений является использование остеобиологических технологий, включающих применение костных аутотрансплантатов, аллотрансплантатов, костнозамещающих материалов, концентрата костного мозга, факторов роста, костных морфогенетических белков и методов молекулярной стимуляции репаративного остеогенеза [20, 22, 23]. Данные методы направлены на усиление остеоиндукции, остеокондукции и стимуляцию клеточной активности в зоне повреждения.

В экспериментальных и клинических исследованиях активно изучаются возможности молекулярного усиления костной регенерации посредством воздействия на сигнальные пути остеогенеза, ангиогенеза и клеточной дифференцировки [23]. Вместе с тем применение ряда биологических технологий ограничивается высокой стоимостью, необходимостью хирургического вмешательства и недостаточной стандартизацией методик.

В последние годы активно развиваются малоинвазивные методы стимуляции костного сращения. К ним относятся низкоинтенсивный импульсный ультразвук, электромагнитная стимуляция, применение биологических препаратов и экстракорпоральная ударно-волновая терапия [22, 24]. Несмотря на накопление данных об эффективности данных методов, результаты исследований остаются неоднородными, а единые клинические рекомендации по выбору метода стимуляции костного сращения до настоящего времени отсутствуют.

Согласно данным сетевого метаанализа Yang и соавт., экстракорпоральная ударно-волновая терапия относится к числу наиболее перспективных неинвазивных методов стимуляции репаративного остеогенеза при замедленно срастающихся и несрастающихся переломах длинных костей [24]. Вместе с тем авторы подчёркивают необходимость дальнейшего изучения критериев отбора пациентов, оптимальных параметров воздействия и долгосрочных результатов лечения.

Повторные хирургические вмешательства при нарушении костного сращения сопровождаются дополнительной травматизацией тканей, увеличением риска инфекционных осложнений, удлинением сроков восстановления и ростом экономических затрат [1, 2]. В связи с этим сохраняется высокий интерес к методам лечения, позволяющим стимулировать процессы костной регенерации без повторного оперативного вмешательства.

Отдельного внимания заслуживает применение методов физической и реабилитационной медицины в лечении пациентов с нарушением костной консолидации. Современные подходы предполагают сочетание стимуляции костной регенерации с восстановлением функции конечности, переносимости нагрузки, двигательной активности и профилактикой вторичных функциональных нарушений [12, 13].

Несмотря на значительное количество публикаций, посвящённых лечению замедленно срастающихся и несрастающихся переломов, данные о применении экстракорпоральной ударно-волновой терапии в составе комплексных программ медицинской реабилитации остаются ограниченными. Особенно недостаточно изучены возможности применения радиальной ЭУВТ у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и костных регенератов.

1.4. Реабилитация пациентов с нарушением костной консолидации

Медицинская реабилитация пациентов с замедленно срастающимися переломами и несращениями костей является важным компонентом комплексного лечения и направлена не только на достижение рентгенологической консолидации, но и на восстановление функции конечности, двигательной активности и переносимости физических нагрузок [12, 25].

Длительное нарушение костного сращения сопровождается развитием болевого синдрома, ограничением объёма движений, снижением мышечной силы, нарушением опороспособности конечности и уменьшением уровня повседневной активности пациентов. В ряде случаев формируются вторичные функциональные нарушения, связанные с длительной иммобилизацией и ограничением нагрузки [1, 2].

Современные подходы к медицинской реабилитации основаны на принципах индивидуализации, этапности и комплексности восстановительных мероприятий. Программа реабилитации должна учитывать локализацию перелома, сроки нарушения консолидации, стабильность фиксации, выраженность болевого синдрома, функциональные ограничения и результаты лучевой диагностики [12].

Одним из ключевых компонентов реабилитации является лечебная физкультура и дозированная механическая нагрузка. Адекватная механическая стимуляция способствует поддержанию мышечной активности, профилактике контрактур и улучшению локального кровообращения, а также оказывает положительное влияние на процессы репаративного остеогенеза [3, 18].

При длительном нарушении консолидации особое значение приобретает динамический контроль функционального состояния пациента. Для комплексной оценки результатов реабилитации используются шкалы боли, функциональные опросники, гониометрическая оценка объёма движений и методы оценки переносимости физической нагрузки [25, 29].

Шкала субъективной оценки физической нагрузки Borg широко применяется для анализа переносимости физических нагрузок и оценки субъективного ощущения утомления у пациентов в процессе медицинской реабилитации [26]. Для оценки индивидуальных функциональных ограничений может использоваться шкала PSFS (Patient-Specific Functional Scale), позволяющая анализировать динамику активности пациента при выполнении значимых для него повседневных действий [27].

Гониометрическая оценка объёма движений является одним из наиболее распространённых методов объективного контроля восстановления функции суставов и конечности в целом [28]. Использование комплекса клинических, функциональных и лучевых методов исследования позволяет более полно оценивать результаты проводимой реабилитации [29].

В последние годы в структуру программ медицинской реабилитации всё чаще включаются методы физической терапии, направленные на стимуляцию регенерации тканей и улучшение функционального состояния пациентов [12, 13]. Одним из таких методов является экстракорпоральная ударно-волновая терапия, рассматриваемая как потенциальный способ стимуляции костной регенерации и уменьшения болевого синдрома [6–10].

Согласно современной концепции регенеративной реабилитации, восстановительное лечение должно быть направлено не только на стимуляцию репаративных процессов, но и на восстановление двигательной функции, переносимости нагрузки и активности пациента в повседневной жизни [12]. В связи с этим применение ЭУВТ целесообразно рассматривать не изолированно, а как компонент комплексной программы медицинской реабилитации.

Несмотря на активное развитие методов медицинской реабилитации, данные о функциональных результатах применения ЭУВТ при замедленной консолидации переломов остаются ограниченными. Особенно недостаточно изучено влияние ЭУВТ на показатели боли, объём движений, переносимость физической нагрузки и индивидуальную функциональную активность пациентов.

1.5. Биологические механизмы действия экстракорпоральной ударно-волновой терапии

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия представляет собой метод физического воздействия, основанный на передаче акустических волн высокой амплитуды в ткани организма. Первоначально ЭУВТ применялась преимущественно в урологии, однако в дальнейшем метод получил широкое распространение в травматологии, ортопедии и медицинской реабилитации [8, 30].

В настоящее время рассматривается несколько основных механизмов биологического действия ЭУВТ на костную ткань. Одним из ключевых процессов является механотрансдукция — преобразование механического импульса в клеточный биологический ответ [6, 8]. Под воздействием ударной волны происходит активация клеточных сигнальных путей, регулирующих процессы ангиогенеза, остеогенеза и ремоделирования костной ткани [7, 13].

Экспериментальные исследования показали, что ЭУВТ способна усиливать экспрессию факторов роста, включая VEGF, BMP и TGF- β , стимулировать пролиферацию остеобластов и активировать дифференцировку мезенхимальных стромальных клеток [14, 31]. Данные эффекты рассматриваются как один из механизмов стимуляции репаративного остеогенеза при замедленной консолидации переломов.

Согласно данным Haddouti и соавт., воздействие ударной волны способствует усилению остеогенной дифференцировки мезенхимальных клеток и

повышению активности процессов минерализации костной ткани [31]. Аналогичные данные были получены в экспериментальной работе Kobayashi и соавт., где применение ЭУВТ сопровождалось ускорением эндохондральной оссификации и улучшением показателей консолидации перелома в модели *delayed union* [32].

Одним из важных эффектов ЭУВТ является стимуляция ангиогенеза и микроциркуляции в зоне повреждения. Усиление локального кровоснабжения способствует улучшению доставки кислорода, факторов роста и клеточных элементов, необходимых для процессов костной регенерации [7, 8]. Кроме того, ЭУВТ может оказывать влияние на воспалительную фазу репаративного остеогенеза, регулируя локальные клеточные и молекулярные реакции [19, 30].

В литературе также описываются обезболивающие эффекты ЭУВТ. Предполагается, что снижение болевого синдрома связано с воздействием на периферические нервные окончания, изменением локальной микроциркуляции, уменьшением концентрации медиаторов воспаления и модуляцией процессов нейrogenного воспаления [33]. Уменьшение болевого синдрома имеет важное значение для повышения переносимости физических нагрузок и расширения возможностей медицинской реабилитации пациентов.

В клинической практике применяются два основных варианта ЭУВТ: фокусированная и радиальная. Фокусированная ЭУВТ обеспечивает концентрацию максимальной энергии на определённой глубине тканей, тогда как при радиальной ЭУВТ энергия распределяется более поверхностно с постепенным снижением интенсивности [33]. Несмотря на различия физических характеристик, обе технологии рассматриваются как потенциальные методы стимуляции репаративного остеогенеза.

Согласно современным рекомендациям и обзорам, оптимальные параметры ЭУВТ при нарушениях костного сращения до настоящего времени окончательно не стандартизированы [34]. В исследованиях используются различные уровни энергии, количество импульсов, частота процедур и интервалы между воздействиями, что затрудняет прямое сравнение результатов.

Таким образом, экстракорпоральная ударно-волновая терапия обладает комплексным биологическим воздействием на процессы костной регенерации и может рассматриваться как перспективный компонент программ медицинской реабилитации пациентов с нарушением костного сращения.

1.6. Клиническое применение ЭУВТ при замедленной консолидации, несращении переломов и нарушении формирования костного регенерата

В последние годы экстракорпоральная ударно-волновая терапия всё шире применяется в лечении замедленно срастающихся переломов и несращений длинных костей. Интерес к данному методу связан с возможностью стимуляции

репаративного остеогенеза без необходимости повторного хирургического вмешательства [8–10].

Согласно данным систематического обзора Willems и соавт., применение ЭУВТ при *delayed union* и *nonunion* сопровождается положительной рентгенологической динамикой у значительной части пациентов [10]. Авторы отмечают, что эффективность лечения зависит от типа несращения, локализации перелома, стабильности фиксации и сроков начала терапии.

В систематическом обзоре и метаанализе Sansone и соавт., включившем более 1200 пациентов с несращениями длинных костей, средняя частота консолидации после применения ЭУВТ составила около 73% [9]. Наиболее благоприятные результаты наблюдались при гипертрофических формах несращения и относительно небольшом межфрагментарном промежутке.

Отдельного внимания заслуживает вопрос выбора типа ударно-волнового воздействия. Большинство опубликованных исследований посвящено применению фокусированной ЭУВТ, тогда как данные о радиальной ЭУВТ при нарушениях костного сращения представлены значительно меньше [34]. Вместе с тем отдельные публикации демонстрируют сопоставимые показатели консолидации при использовании радиальной технологии [9].

В исследовании Nembre и соавт., включавшем 97 пациентов с несращениями длинных костей, положительный эффект ЭУВТ был достигнут более чем у половины пациентов [35]. Авторы указывают, что результаты лечения зависели от локализации повреждения, давности нарушения консолидации и количества предшествующих операций.

В исследовании Wu и соавт. было показано, что менее благоприятный ответ на ЭУВТ наблюдался у пациентов с атрофическим типом несращения, значительным межфрагментарным промежутком и множественными предшествующими хирургическими вмешательствами [11]. Данные результаты подчёркивают необходимость дифференцированного подхода к отбору пациентов для проведения ЭУВТ.

Наиболее близкой по концепции к настоящему исследованию является работа Yang и соавт., посвящённая применению ЭУВТ в сочетании с кинезитерапией у пациентов с замедленным сращением переломов костей голени [14]. Авторы продемонстрировали положительную динамику болевого синдрома, функционального состояния и рентгенологических показателей консолидации, что подтверждает перспективность комплексного реабилитационного подхода.

Помимо лечения *delayed union* и *nonunion* длинных костей, ЭУВТ рассматривается как потенциальный метод стимуляции формирования костного регенерата после реконструктивных вмешательств и удлинения конечностей [8, 30]. Предполагается, что механическая стимуляция и активация процессов ангиогенеза могут способствовать ускорению созревания костного регенерата и повышению его механической прочности.

Несмотря на накопление данных об эффективности ЭУВТ, опубликованные исследования существенно различаются по дизайну, параметрам воздействия, критериям оценки результатов и срокам наблюдения [34]. В настоящее время отсутствуют единые стандартизированные протоколы применения ЭУВТ при нарушениях костного сращения, что требует дальнейших исследований в данной области.

1.7. Нерешённые вопросы применения ЭУВТ в комплексной реабилитации

Несмотря на активное внедрение экстракорпоральной ударно-волновой терапии в клиническую практику, ряд аспектов её применения при нарушениях костного сращения остаётся недостаточно изученным. Большинство опубликованных исследований посвящено лечению несращений длинных костей, тогда как данные о применении ЭУВТ при замедленной консолидации и нарушении формирования костного регенерата остаются ограниченными [9, 10].

Одной из основных проблем является выраженная неоднородность опубликованных исследований. В литературе используются различные критерии диагностики *delayed union* и *nonunion*, отличаются сроки начала терапии, параметры ударно-волнового воздействия, количество процедур и методы оценки результатов [34]. Это существенно затрудняет сопоставление данных различных исследований и формирование единых клинических рекомендаций.

До настоящего времени отсутствует единое мнение относительно оптимальных параметров ЭУВТ при нарушениях костного сращения. В исследованиях применяются различные уровни энергии, частота импульсов, интервалы между процедурами и количество сеансов терапии [34, 35]. Кроме того, большинство публикаций посвящено применению фокусированной ЭУВТ, тогда как данные о радиальной технологии остаются ограниченными [9].

Недостаточно изученными остаются критерии отбора пациентов для проведения ЭУВТ. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что эффективность терапии зависит от типа несращения, стабильности фиксации, локализации повреждения, выраженности костного дефекта, состояния мягких тканей и наличия сопутствующих факторов риска [11, 17, 35]. Вместе с тем единые алгоритмы отбора пациентов до настоящего времени не разработаны.

Большинство опубликованных исследований сосредоточено преимущественно на рентгенологических показателях консолидации [9, 10]. При этом значительно меньше внимания уделяется функциональным результатам лечения, динамике болевого синдрома, переносимости физической нагрузки и восстановлению двигательной активности пациентов [12, 25]. В современной медицинской реабилитации данные показатели имеют принципиальное значение для оценки эффективности восстановительного лечения.

Отдельного внимания заслуживает недостаточное количество исследований, посвящённых применению ЭУВТ именно как компонента комплексной программы медицинской реабилитации [14]. В большинстве работ ЭУВТ рассматривается как самостоятельный метод стимуляции костного сращения без детального анализа сочетания с лечебной физкультурой, дозированной нагрузкой и другими компонентами реабилитационного процесса.

Сохраняется необходимость дальнейшего изучения клинической эффективности радиальной ЭУВТ при замедленно срастающихся переломах трубчатых костей и нарушении формирования костного регенерата. Перспективным направлением является комплексная оценка не только рентгенологических результатов лечения, но и функционального состояния пациентов, объёма движений, болевого синдрома и переносимости физических нагрузок.

Таким образом, существующие ограничения современной доказательной базы определяют необходимость дальнейших клинических исследований, направленных на оценку эффективности экстракорпоральной ударно-волновой терапии в составе комплексных программ медицинской реабилитации пациентов с нарушением костного сращения.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Дизайн исследования

Настоящее исследование выполнено в формате сравнительного наблюдательного клинического исследования, посвящённого оценке эффективности экстракорпоральной ударно-волновой терапии в составе программы медицинской реабилитации пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и нарушением формирования костного регенерата.

Исследование проводилось на базе клинических и реабилитационных учреждений, участвовавших в реализации программ медицинской реабилитации пациентов с нарушением костного сращения.

В исследование были включены 46 пациентов в возрасте от 18 до 63 лет с признаками замедленной консолидации переломов трубчатых костей и костных регенератов после хирургического лечения, соответствовавших критериям включения. Набор пациентов проводился последовательно в установленные сроки выполнения исследования.

Все пациенты проходили стандартную программу медицинской реабилитации, включавшую лечебную физкультуру, дозированную нагрузку и динамическое клинико-рентгенологическое наблюдение.

Пациенты были распределены на две сопоставимые по численности группы:

- основная группа (n=23) — пациенты, дополнительно получавшие экстракорпоральную ударно-волновую терапию в составе программы медицинской реабилитации;
- контрольная группа (n=23) — пациенты, проходившие стандартную программу медицинской реабилитации без применения ЭУВТ.

Распределение пациентов по группам осуществлялось в соответствии с проводимой программой лечения и клиническими условиями проведения реабилитации. Рандомизация пациентов не проводилась.

Исследование включало:

- клиническую оценку болевого синдрома;
- функциональную оценку состояния пациентов;
- оценку переносимости физической нагрузки;
- гониометрическую оценку объёма движений;
- клинико-рентгенологическую оценку консолидации.

Оценка результатов лечения проводилась в динамике на основании клинических, функциональных и лучевых методов исследования.

Продолжительность наблюдения за пациентами составила 6 месяцев.

Исследование выполнено в соответствии с принципами доказательной медицины и биоэтики. Все пациенты были ознакомлены с целями и методами исследования и подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Проведение исследования одобрено локальной этической комиссией Медицинского университета Астана (протокол №2 от 26.11.2025 г.).

В ходе исследования оценивались клинико-рентгенологические и функциональные результаты применения экстракорпоральной ударно-волновой терапии как дополнительного компонента программы медицинской реабилитации пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и нарушением формирования костного регенерата.

2.2. База проведения исследования

Исследование проводилось на клинических базах, где выполняются травматолого-ортопедическое лечение и медицинская реабилитация пациентов с последствиями переломов, остеотомий и реконструктивных вмешательств.

Клиническими базами исследования являлись ТОО «Центр реабилитации и спортивной кинезиологии “Kinetik”», Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова и Многопрофильная городская больница №1 города Астаны.

На указанных базах проводились отбор пациентов, клиническая оценка, реабилитационное сопровождение и динамическое наблюдение. Лучевая оценка выполнялась по данным рентгенографии.

2.3. Материалы исследования и характеристика пациентов

В исследование были включены 46 пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и нарушением формирования костного регенерата после хирургического лечения, проходивших медицинскую реабилитацию.

Основную группу составили 23 пациента, которым в составе программы медицинской реабилитации дополнительно проводилась экстракорпоральная ударно-волновая терапия. Контрольную группу составили 23 пациента, проходившие стандартную программу медицинской реабилитации без применения ЭУВТ.

Контрольная группа подбиралась с учётом сопоставимости клинических характеристик пациентов, включая возраст, локализацию повреждения, сроки нарушения консолидации, характер перелома, тяжесть повреждения и вид ранее выполненного хирургического вмешательства. При формировании групп учитывались пациенты после различных вариантов хирургического лечения, включая накостный металлоостеосинтез, интрамедуллярный остеосинтез и применение аппаратов внешней фиксации, в том числе аппарата Илизарова.

Подробная характеристика пациентов основной и контрольной групп представлена в приложениях А и Б.

Таблица 2.1. Сравнительная характеристика пациентов

Показатель	Основная группа (n=23)	Контрольная группа (n=23)	p
Возраст, Me [Q1;Q3], лет	35 [26;42]	41 [34;49]	>0,05
Мужчины, n (%)	12 (52,2%)	16 (69,6%)	>0,05
Женщины, n (%)	11 (47,8%)	7 (30,4%)	>0,05
Исходная ВАШ, Me [Q1;Q3]	3 [2;4]	3 [2;4]	>0,05
Срок нарушения консолидации, Me [Q1;Q3], мес	4 [3;5]	5 [4;7]	>0,05

Примечание – p — уровень статистической значимости различий между группами.

Как видно из таблицы 2.1, статистически значимых различий между основной и контрольной группами по полу, возрасту, срокам нарушения консолидации и исходной выраженности болевого синдрома выявлено не было ($p>0,05$), что свидетельствует о сопоставимости исследуемых групп.

Таблица 2.2. Распределение пациентов по локализации перелома

Локализация перелома	Основная группа, n (%)	Контрольная группа, n (%)	p
Кости голени	13 (56,5%)	13 (56,5%)	>0,05
Плюсневые кости	4 (17,4%)	3 (13,0%)	>0,05
Кости верхней конечности	4 (17,4%)	5 (21,7%)	>0,05
Бедренная кость	2 (8,7%)	2 (8,7%)	>0,05
Всего	23 (100%)	23 (100%)	-

В обеих группах преобладали пациенты с переломами костей голени — по 13 пациентов (56,5%). Переломы плюсневых костей отмечались у 4 пациентов основной группы и у 3 пациентов контрольной группы. Повреждения костей верхней конечности встречались у 4 и 5 пациентов соответственно. Переломы бедренной кости наблюдались одинаково часто — по 2 случая в каждой группе. Статистически значимых различий между группами по локализации переломов выявлено не было ($p>0,05$).

Таблица 2.3. Сравнительная характеристика методов оперативного лечения

Метод фиксации	Основная группа, n (%)	Контрольная группа, n (%)	p
Аппарат внешней фиксации по Илизарову	9 (39,1%)	9 (39,1%)	>0,05
Накостный остеосинтез пластиной	8 (34,8%)	9 (39,1%)	>0,05
Винтовая фиксация	4 (17,4%)	3 (13,0%)	>0,05
Блокируемый интрамедуллярный остеосинтез	2 (8,7%)	2 (8,7%)	>0,05
Всего	23 (100%)	23 (100%)	-

При анализе методов хирургического лечения установлено, что у пациентов с переломами костей голени преимущественно применялся аппарат внешней фиксации по Илизарову, а также накостный остеосинтез пластинами. При переломах костей верхней конечности преимущественно использовался накостный остеосинтез пластинами. При переломах плюсневых костей применялась винтовая фиксация, а при переломах бедренной кости — блокируемый интрамедуллярный остеосинтез.

Статистически значимых различий между группами по характеру ранее выполненного оперативного лечения и методам фиксации выявлено не было ($p>0,05$), что свидетельствует о сопоставимости исследуемых групп по данному критерию.

Таким образом, основная и контрольная группы были сопоставимы по полу, возрасту, локализации переломов, срокам нарушения консолидации, исходной выраженности болевого синдрома и характеру оперативного лечения. Это позволяет рассматривать различия клинико-рентгенологической динамики как связанные преимущественно с особенностями проводимой реабилитационной программы, включая применение экстракорпоральной ударно-волновой терапии в основной группе.

2.4. Критерии включения и исключения

В исследование включались пациенты в возрасте от 18 до 63 лет с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей или нарушением формирования костного регенерата после хирургического лечения. Обязательным условием включения являлось наличие признаков нарушения консолидации не

менее чем через 3 месяца после травмы, операции, остеотомии, удлинения конечности или билокального остеосинтеза.

Критериями включения являлись:

- возраст от 18 до 63 лет;
- наличие замедленно срастающегося перелома трубчатой кости или нарушения формирования костного регенерата;
- срок не менее 3 месяцев после травмы или хирургического вмешательства;
- отсутствие полноценной рентгенологической консолидации при сохранении стабильности фиксации;
- наличие болевого синдрома, функциональных ограничений или признаков замедленного восстановления;
- возможность прохождения динамического клинико-рентгенологического наблюдения;
- наличие подписанного информированного согласия на участие в исследовании.

Критериями исключения являлись:

- возраст младше 18 лет;
- активный инфекционный процесс в зоне перелома или костного регенерата;
- нестабильность фиксации, требующая хирургической коррекции;
- выраженный костный дефект, требующий реконструктивного хирургического лечения;
- декомпенсированный сахарный диабет;
- активный туберкулёз любой локализации;
- беременность;
- тяжёлые сердечно-сосудистые заболевания в стадии декомпенсации;
- психические заболевания, препятствующие соблюдению протокола исследования;
- отказ пациента от участия в исследовании.

Критерии отбора были сформированы с целью обеспечения клинической однородности исследуемых групп и безопасности пациентов. Из исследования исключались пациенты, у которых первоочередным этапом лечения являлось хирургическое вмешательство, санация инфекционного очага или коррекция нестабильности фиксации.

2.5. Индивидуальная программа реабилитации

Индивидуальная программа реабилитации формировалась с учётом локализации перелома, срока нарушения консолидации, выраженности болевого синдрома, стабильности фиксации, данных лучевой диагностики и функциональных ограничений пациента.

Все пациенты обеих групп проходили стандартную программу медицинской реабилитации, включавшую лечебную физкультуру, дозированную механическую нагрузку, обучение двигательному режиму и динамическое клиническое наблюдение. Реабилитационные мероприятия были направлены на восстановление функции конечности, переносимости физической нагрузки, профилактику контрактур и постепенное расширение двигательной активности пациентов.

При поражении нижних конечностей основное внимание уделялось восстановлению опороспособности, переносимости осевой нагрузки и формированию правильного двигательного стереотипа. При поражении верхних конечностей акцент делался на восстановлении объёма движений, бытовой активности и переносимости функциональной нагрузки.

Лечебная физкультура проводилась индивидуально с постепенным увеличением объёма и интенсивности нагрузки. Основанием для расширения двигательного режима являлись уменьшение болевого синдрома, отсутствие отрицательной клинической динамики и наличие положительной рентгенологической динамики.

В основной группе экстракорпоральная ударно-волновая терапия применялась как дополнительный компонент индивидуальной программы медицинской реабилитации. Назначение ЭУВТ проводилось после клинической и рентгенологической оценки состояния зоны перелома или костного регенерата.

ЭУВТ не рассматривалась как альтернатива хирургическому лечению при нестабильности фиксации, активном инфекционном процессе или выраженном костном дефекте. Применение метода осуществлялось только при наличии стабильных механических условий и отсутствии показаний к неотложной хирургической коррекции.

Во время проведения реабилитации осуществлялось динамическое наблюдение за пациентами, включавшее оценку болевого синдрома, функционального состояния, переносимости нагрузки и клинко-рентгенологической динамики. При усилении боли, появлении отрицательной клинической динамики или ухудшении функционального состояния программа реабилитации пересматривалась индивидуально.

2.6. Протокол экстракорпоральной ударно-волновой терапии

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия проводилась на аппарате BTL-6000 SWT Combi с использованием радиального режима воздействия. Процедуры выполнялись в области замедленно срастающегося перелома или костного регенерата после предварительной клинко-рентгенологической оценки зоны повреждения.

В исследовании применялись следующие параметры ЭУВТ:

- давление — от 1,5 до 2,5 Бар;

- частота — 10–12 Гц;
- количество импульсов — 3000 на процедуру;
- интервал между процедурами — не менее 72 часов.

Количество процедур определялось индивидуально с учётом локализации повреждения, выраженности болевого синдрома, клинической динамики, переносимости терапии и данных лучевого контроля.

Выбор параметров ЭУВТ основывался на анализе современных литературных данных, посвящённых применению ударно-волновой терапии при *delayed union* и *nonunion* длинных костей, а также на технических возможностях используемого оборудования. В опубликованных исследованиях отсутствуют единые стандартизированные протоколы применения ЭУВТ при нарушениях костного сращения, при этом наиболее часто используются режимы с несколькими тысячами импульсов за процедуру, частотой 8–15 Гц и повторными сеансами с интервалом в несколько дней [9, 10, 14, 34, 35].

Дополнительным основанием для выбора протокола являлись данные исследований, посвящённых сочетанию ЭУВТ с активной медицинской реабилитацией и дозированной нагрузкой у пациентов с замедленно срастающимися переломами [14]. Используемый диапазон параметров рассматривался как клинически безопасный и воспроизводимый в условиях реабилитационного центра.

Поскольку аппарат BTL-6000 SWT Combi в радиальном режиме не позволяет стандартизировать плотность потока энергии аналогично фокусированной ЭУВТ, основными регулируемыми параметрами являлись давление, частота импульсов и количество воздействий за процедуру. В связи с клинической неоднородностью пациентов длительность курса лечения определялась индивидуально.

Во время проведения ЭУВТ контролировались переносимость процедуры и наличие кратковременных местных реакций. Наиболее часто отмечались умеренная локальная болезненность и кратковременное усиление боли в зоне воздействия, не требовавшие прекращения курса лечения.

В исследовании ЭУВТ рассматривалась как компонент комплексной программы медицинской реабилитации и применялась только при наличии стабильной фиксации и отсутствии показаний к хирургической коррекции.

2.7. Методы оценки клинических, функциональных и лучевых исходов

Оценка результатов лечения проводилась комплексно и включала клинические, функциональные и лучевые методы исследования. Динамическое наблюдение осуществлялось до начала курса лечения и в процессе последующего наблюдения.

Интенсивность болевого синдрома оценивалась с использованием визуально-аналоговой шкалы (ВАШ) от 0 до 10 баллов, где 0 соответствовал отсутствию боли, а 10 — максимально выраженному болевому синдрому. Оценка ВАШ проводилась до начала лечения и в динамике наблюдения после завершения курса реабилитации.

Для оценки функционального состояния пациентов использовалась шкала PSFS (Patient-Specific Functional Scale). Пациент самостоятельно определял виды активности, наиболее ограниченные вследствие повреждения, после чего степень выполнения каждого действия оценивалась по балльной системе. Использование PSFS позволяло учитывать индивидуальные функциональные ограничения при различной локализации повреждений.

Переносимость физической нагрузки оценивалась с применением шкалы Борга. Данный метод использовался для субъективной оценки тяжести физической нагрузки и степени утомления пациента в процессе медицинской реабилитации.

Гониометрическая оценка применялась для определения объёма движений в суставах, функционально связанных с повреждённым сегментом. При поражении нижних конечностей оценивались движения в смежных суставах нижней конечности, при поражении верхних конечностей — движения в локтевом, лучезапястном и других суставах по клинической необходимости.

Лучевая оценка состояния зоны перелома или костного регенерата проводилась методом стандартной рентгенографии повреждённого сегмента не менее чем в двух проекциях. При необходимости выполнялись снимки с захватом смежных суставов для оценки оси конечности, стабильности фиксации и функционального состояния сегмента. Контрольные исследования проводились до начала лечения и в динамике через 1, 3 и 6 месяцев наблюдения.

При недостаточной информативности рентгенографии или сомнительной клинικο-рентгенологической картине дополнительно применялась компьютерная томография.

Клинικο-рентгенологическая оценка включала анализ наличия и выраженности костной мозоли, степени межфрагментарной щели, признаков формирования костного сращения, динамики ремоделирования костной ткани, а также клинических признаков стабильности сегмента и переносимости нагрузки.

Оценка лучевых данных проводилась лечащим врачом травматологом-ортопедом с учётом клинической картины, жалоб пациента и функционального состояния конечности. Независимое ослеплённое сравнение рентгенограмм в рамках настоящего исследования не проводилось, что обусловлено клиническим дизайном исследования и ограниченным объёмом выборки.

Таким образом, оценка эффективности проводимой реабилитации основывалась не только на рентгенологической динамике, но и на анализе боли, функционального состояния, переносимости физической нагрузки и объёма

движений, что соответствовало задачам комплексной медицинской реабилитации пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей.

2.8. Клинико-рентгенологическая оценка консолидации

Итоговая клинико-рентгенологическая оценка результатов лечения проводилась через 6 месяцев после начала реабилитационной программы. Выбор данного срока основывался на общепринятых сроках динамического наблюдения пациентов с замедленно срастающимися переломами и необходимости оценки промежуточных результатов репаративного остеогенеза после проведения курса медицинской реабилитации и ЭУВТ. Контроль через 6 месяцев позволял оценить наличие либо отсутствие положительной динамики костного сращения и определить дальнейшую лечебную тактику.

Клинико-рентгенологическая оценка основывалась на совокупности лучевых и клинических признаков консолидации. При анализе рентгенограмм учитывались:

- формирование костной мозоли;
- уменьшение или исчезновение межфрагментарной щели;
- появление костных трабекул, пересекающих зону перелома;
- признаки ремоделирования костной ткани;
- отсутствие отрицательной рентгенологической динамики.

Клинически дополнительно оценивались:

- выраженность болевого синдрома;
- переносимость функциональной нагрузки;
- стабильность сегмента;
- динамика двигательной активности и функционального состояния конечности.

Полная консолидация определялась при наличии устойчивых рентгенологических признаков костного сращения в сочетании с отсутствием либо минимальной выраженностью болевого синдрома при функциональной нагрузке и удовлетворительной клинической стабильностью сегмента.

Частичная консолидация определялась при наличии положительной клинико-рентгенологической динамики без полного завершения костного сращения. Критериями частичной консолидации считались формирование или увеличение объёма костной мозоли, уменьшение межфрагментарной щели, появление отдельных признаков ремоделирования костной ткани и улучшение клинического состояния пациента при сохранении отдельных признаков незавершённой консолидации.

Отсутствие значимой динамики определялось при отсутствии существенных рентгенологических признаков прогрессирования костного сращения и сохранении клинических проявлений нарушения консолидации.

Оценка рентгенологических данных проводилась лечащим врачом травматологом-ортопедом в динамике наблюдения с учётом клинической картины и функционального состояния пациента. При недостаточной информативности рентгенографии или сомнительной клинικο-рентгенологической картине дополнительно использовалась компьютерная томография.

Дополнительно фиксировалась необходимость изменения тактики лечения или повторного хирургического вмешательства, что рассматривалось как косвенный признак недостаточной эффективности проводимой реабилитационной программы.

2.9. Исходы исследования

Основным исходом исследования являлось наличие клинικο-рентгенологических признаков консолидации перелома или костного регенерата через 6 месяцев после начала реабилитационной программы.

Оценка основного исхода проводилась на основании совокупности лучевых и клинических критериев, включавших формирование костной мозоли, уменьшение или исчезновение межфрагментарной щели, признаки ремоделирования костной ткани, переносимость функциональной нагрузки и выраженность болевого синдрома.

Дополнительными исходами исследования являлись:

- динамика болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале (ВАШ);
- динамика функционального состояния по шкале PSFS;
- изменение объёма движений по данным гониометрии;
- динамика переносимости физической нагрузки по шкале Борга;
- частота полной и частичной консолидации;
- наличие случаев отсутствия значимой клинικο-рентгенологической динамики;
- переносимость экстракорпоральной ударно-волновой терапии;
- наличие кратковременных местных реакций;
- необходимость изменения лечебной тактики или повторного хирургического вмешательства.

Оценка исходов проводилась в динамике клинического наблюдения. Болевой синдром, функциональное состояние, переносимость нагрузки и объём движений анализировались до начала лечения и после завершения курса реабилитации. Клинικο-рентгенологическая оценка консолидации проводилась через 6 месяцев наблюдения.

Основной исход исследования был определён заранее. Дополнительные исходы использовались для комплексной оценки клинической, функциональной и лучевой динамики у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей.

2.10. Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы IBM SPSS Statistics версии 26.0.

С учётом малого объёма выборки и клинической неоднородности исследуемых групп предварительно выполнялась оценка распределения количественных показателей с использованием критерия Шапиро–Уилка. Поскольку большинство показателей не соответствовало нормальному распределению, для анализа применялись непараметрические методы статистики.

Количественные показатели представлены в виде медианы и межквартильного интервала — Me [Q1; Q3]. Категориальные показатели представлены в виде абсолютных значений и процентов.

Для оценки динамики количественных показателей внутри группы до и после лечения использовался критерий Уилкоксона для связанных выборок. Данный метод применялся при анализе изменений боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), показателей PSFS, гониометрии и шкалы Борга.

Для сравнения количественных показателей между основной и контрольной группами использовался критерий Манна–Уитни.

Сравнение категориальных показателей, включая частоту полной консолидации, частичной консолидации и отсутствие значимой клинко-рентгенологической динамики, проводилось с использованием точного критерия Фишера.

Для оценки связи между отдельными клиническими показателями дополнительно применялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Статистически значимыми считались различия при уровне значимости $p < 0,05$.

С учётом ограниченного объёма выборки, отсутствия рандомизации и клинической неоднородности пациентов результаты исследования интерпретировались как предварительные и требующие дальнейшего подтверждения в более крупных сравнительных исследованиях.

2.10.1. Описательная статистика

Количественные показатели в исследовании представлены в виде медианы и межквартильного интервала — Me [Q1; Q3], что обусловлено малым объёмом выборки и отсутствием нормального распределения большинства анализируемых данных.

К количественным показателям относились возраст пациентов, срок нарушения консолидации, интенсивность боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), показатели PSFS, результаты гониометрии, показатели шкалы Борга и количество процедур ЭУВТ.

Категориальные показатели представлены в виде абсолютных значений и процентов. К ним относились пол пациентов, локализация перелома, методы оперативного лечения, наличие полной или частичной консолидации, отсутствие значимой клинικο-рентгенологической динамики, наличие кратковременных местных реакций и потребность в дополнительном хирургическом вмешательстве.

Проверка распределения количественных показателей выполнялась с использованием критерия Шапиро–Уилка. Результаты теста учитывались совместно с клинической неоднородностью исследуемых групп и малым объёмом выборки, что послужило основанием для применения непараметрических методов статистического анализа.

2.10.2. Анализ динамики количественных показателей

Для оценки динамики количественных показателей до и после лечения использовался критерий Уилкоксона для связанных выборок. Данный метод применялся при анализе изменений интенсивности боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), показателей PSFS, результатов гониометрии и шкалы Борга.

Выбор критерия Уилкоксона был обусловлен необходимостью сравнения повторных измерений у одних и тех же пациентов при малом объёме выборки и отсутствии нормального распределения большинства количественных показателей.

Для каждого количественного показателя анализировались исходные значения, показатели после завершения курса лечения, а также величина индивидуальной динамики.

При интерпретации результатов учитывались не только статистическая значимость изменений, но и их клиническая значимость с позиции функционального состояния пациента, переносимости нагрузки и динамики болевого синдрома.

2.10.3. Корреляционный анализ

Корреляционный анализ применялся как дополнительный исследовательский метод для оценки возможной связи между отдельными клиническими показателями и динамикой результатов лечения.

Для анализа использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Выбор данного метода был обусловлен малым объёмом выборки, отсутствием нормального распределения количественных показателей и порядковым характером части анализируемых данных.

Корреляционный анализ применялся для оценки связи между:

- возрастом пациента и динамикой боли по ВАШ;
- сроком нарушения консолидации и выраженностью клинической динамики;

- количеством процедур ЭУВТ и снижением болевого синдрома;
- сроком нарушения консолидации и функциональными показателями.

Результаты корреляционного анализа рассматривались как дополнительные исследовательские данные и не использовались для установления причинно-следственных связей. При интерпретации результатов учитывались ограниченный объём выборки и клиническая неоднородность пациентов.

2.10.4. Анализ бинарных исходов

Анализ категориальных исходов проводился для оценки клинко-рентгенологических результатов лечения и переносимости программы реабилитации.

К категориальным исходам относились:

- наличие полной консолидации;
- наличие частичной консолидации;
- отсутствие значимой клинко-рентгенологической динамики;
- наличие кратковременных местных реакций;
- необходимость изменения лечебной тактики или повторного хирургического вмешательства.

Категориальные показатели представлены в виде абсолютных значений и процентов.

Сравнение категориальных показателей между основной и контрольной группами проводилось с использованием точного критерия Фишера, что обусловлено малым объёмом выборки и ограниченным числом наблюдений в отдельных подгруппах.

Основной клинко-рентгенологический исход — наличие консолидации через 6 месяцев наблюдения — анализировался как в абсолютных значениях, так и в процентном соотношении относительно общего числа пациентов в группе.

При интерпретации результатов учитывались ограниченный объём выборки, отсутствие рандомизации и клиническая неоднородность пациентов.

2.10.5. Поправка на множественные сравнения

При интерпретации результатов исследования учитывались ограничения, связанные с малым объёмом выборки, отсутствием рандомизации и клинической неоднородностью исследуемых групп.

Исследование проводилось в условиях реальной клинической практики, что сопровождалось различиями по локализации переломов, типам ранее выполненного оперативного лечения, срокам нарушения консолидации и функциональному состоянию пациентов.

Небольшое количество наблюдений ограничивало возможности проведения многофакторного статистического анализа и снижало статистическую мощность отдельных сравнений.

В связи с этим результаты сравнительного анализа рассматривались как предварительные клинические данные, требующие дальнейшего подтверждения в более крупных проспективных исследованиях с большей степенью статистической однородности групп.

2.10.6. Программное обеспечение и визуализация

Первичная база данных формировалась в Microsoft Excel. В Excel выполнялись проверка полноты данных, первичная сортировка, подготовка таблиц и построение графического материала.

Статистическая обработка выполнялась в IBM SPSS Statistics. В SPSS проводились описательный анализ, оценка распределения количественных показателей, парные сравнения с использованием критерия Уилкоксона, корреляционный анализ по Спирмену и расчёт статистической значимости.

Визуализация данных выполнялась с использованием Microsoft Excel. Для представления структуры группы использовались столбчатые диаграммы. Для динамики боли и функциональных показателей применялись парные графики до и после лечения. Для отображения индивидуального снижения боли использовался график индивидуальной динамики. Для итогового клинико-рентгенологического результата применялась столбчатая диаграмма с отображением частоты консолидации, частичной консолидации и отсутствия консолидации.

Визуализация использовалась не как самостоятельное доказательство результата, а как способ наглядного представления индивидуальной и групповой динамики.

2.11. Этические нормы и защита персональных данных

Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации, правилами надлежащей клинической практики и требованиями Локальной комиссии по биоэтике НАО «Медицинский университет Астана».

Проведение исследования одобрено Локальной комиссией по биоэтике НАО «Медицинский университет Астана», протокол № 16 от 26.11.2025 г.

Все участники исследования подписали письменное информированное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных. До включения в исследование пациентам разъясняли цель работы, характер проводимых процедур, предполагаемую пользу, возможные местные реакции на ЭУВТ и право отказаться от участия без ущерба для дальнейшего лечения.

Конфиденциальность персональных данных обеспечивали обезличиванием исследовательской базы. Доступ к первичной информации имели только члены исследовательской группы. Электронные данные хранились в защищённом виде. Результаты исследования представлены в обобщённой форме без указания сведений, позволяющих идентифицировать пациента.

Применение ЭУВТ проводилось только при отсутствии признаков активного инфекционного процесса, нестабильности фиксации и других состояний, при которых пациенту требовалась иная лечебная тактика. При возникновении выраженной боли, местной реакции или ухудшении клинического состояния предусматривался пересмотр режима лечения.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Структура анализируемых данных

В итоговый анализ были включены данные 46 пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и нарушением формирования костного регенерата, проходивших медицинскую реабилитацию.

Основную группу составили 23 пациента, получавшие экстракорпоральную ударно-волновую терапию в составе индивидуальной программы реабилитации. Контрольную группу составили 23 пациента, проходившие стандартную программу медицинской реабилитации без применения ЭУВТ.

Для всех включённых пациентов были доступны данные клинического наблюдения, показатели боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) и результаты клинико-рентгенологической оценки через 6 месяцев наблюдения.

Функциональная оценка с использованием шкалы PSFS, шкалы Борга и гониометрии проводилась у пациентов, для которых данные методы были клинически применимы с учётом локализации повреждения и характера функциональных ограничений.

Анализ результатов проводился отдельно для основной группы и в сравнительном формате между основной и контрольной группами.

Таблица 3.1. Полнота анализируемых данных

Показатель	Число пациентов
Включены в анализ	46
Данные по полу и возрасту	46
Данные по локализации повреждения	46
Данные по характеристике методов оперативного лечения	46
Данные по сроку нарушения консолидации	46
Данные по количеству процедур ЭУВТ	23
Данные ВАШ до и после лечения	46
Данные по клинико-рентгенологическому результату через 6 месяцев	46
Данные по кратковременным местным реакциям	46
Данные по PSFS	46
Данные по гониометрии	46
Данные по шкале Борга	46

3.2. Общая характеристика пациентов

В исследование были включены 46 пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и нарушением формирования костного регенерата после хирургического лечения. Основную группу составили 23 пациента, получавшие экстракорпоральную ударно-волновую терапию в составе индивидуальной программы реабилитации. В контрольную группу вошли 23 пациента, проходившие стандартную программу медицинской реабилитации без применения ЭУВТ.

Статистически значимых различий между основной и контрольной группами по возрасту, полу, срокам нарушения консолидации и исходной выраженности болевого синдрома выявлено не было ($p > 0,05$), что свидетельствовало о сопоставимости исследуемых групп.

В обеих группах преобладали пациенты трудоспособного возраста с последствиями переломов костей голени после различных вариантов хирургического лечения. Наиболее часто встречались пациенты после применения аппарата внешней фиксации по Илизарову и накостного остеосинтеза пластинами.

Подробная сравнительная характеристика пациентов представлена в разделе 2.3.

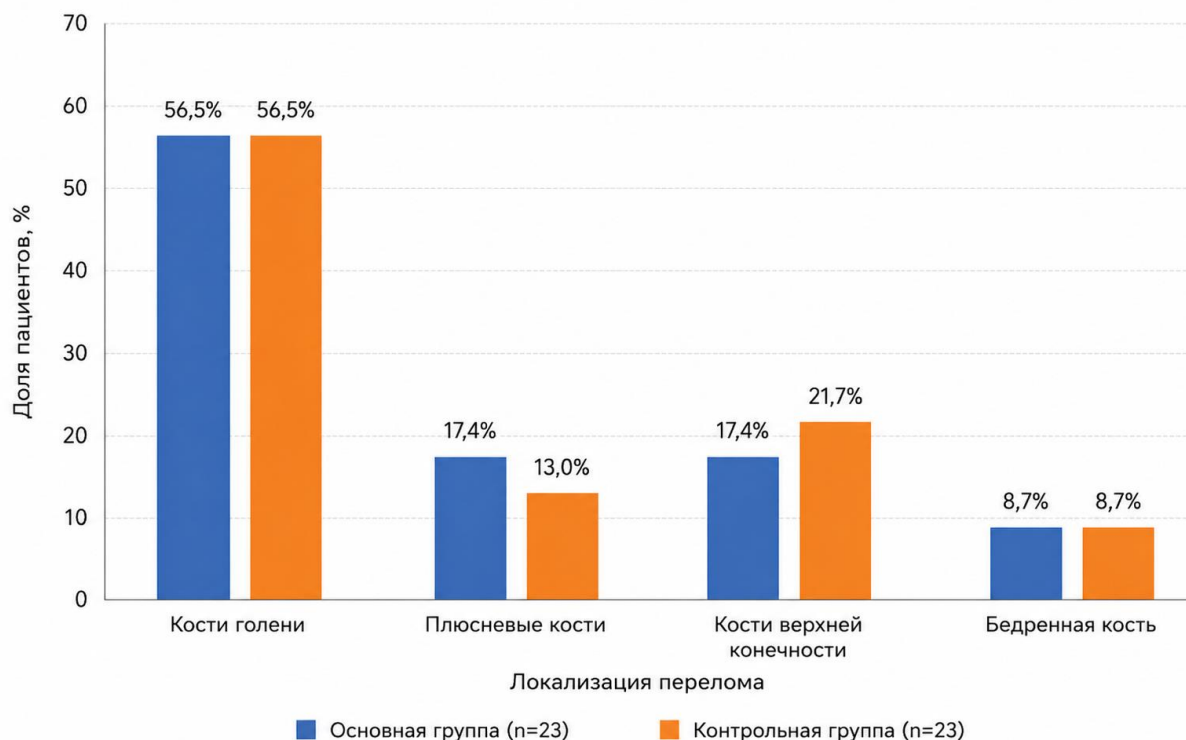
3.3. Локализация нарушения костной консолидации

В структуре исследуемых повреждений преобладали замедленно срастающиеся переломы костей голени. Наиболее часто встречались нарушения консолидации большеберцовой кости, а также сочетанные повреждения большеберцовой и малоберцовой костей.

Также в исследование были включены пациенты с переломами плюсневых костей, бедренной кости и костей верхней конечности. Распределение пациентов по локализации повреждения между основной и контрольной группами было сопоставимым.

Наиболее часто нарушения консолидации наблюдались у пациентов после различных вариантов хирургического лечения переломов костей голени, включая применение аппарата внешней фиксации по Илизарову и накостного остеосинтеза.

Рисунок 3.1. Распределение пациентов по локализации нарушения костной консолидации



Как видно на рисунке 3.1, в структуре исследуемых повреждений в обеих группах преобладали пациенты с замедленно срастающимися переломами костей голени — по 56,5% случаев. Значительно реже встречались переломы плюсовых костей, костей верхней конечности и бедренной кости. Распределение пациентов по локализации повреждений между основной и контрольной группами было сопоставимым, что подтверждало клиническую однородность исследуемых групп.

3.4. Характеристика курса ЭУВТ

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия проводилась пациентам основной группы в составе индивидуальной программы медицинской реабилитации. Все процедуры выполнялись с использованием радиального режима воздействия на аппарате BTL-6000 SWT Combi.

Параметры воздействия были стандартизированы и включали давление от 1,5 до 2,5 Бар, частоту 10–12 Гц и 3000 импульсов за процедуру. Интервал между процедурами составлял не менее 72 часов.

Количество процедур определялось индивидуально с учётом локализации повреждения, выраженности болевого синдрома, клинической динамики и переносимости лечения.

Медиана количества процедур ЭУВТ составила Me 16 [8;23]. Минимальное количество процедур составило 3, максимальное — 40.

Наиболее длительные курсы ЭУВТ наблюдались у пациентов с замедленно срастающимися переломами костей голени и более выраженными сроками нарушения консолидации. У пациентов с переломами плюсневых костей и верхней конечности количество процедур, как правило, было меньше.

В процессе лечения значимых осложнений, требовавших прекращения курса терапии, зарегистрировано не было. Наиболее часто отмечались кратковременная локальная болезненность и умеренное усиление боли после процедуры, которые носили транзиторный характер и не требовали дополнительного лечения.

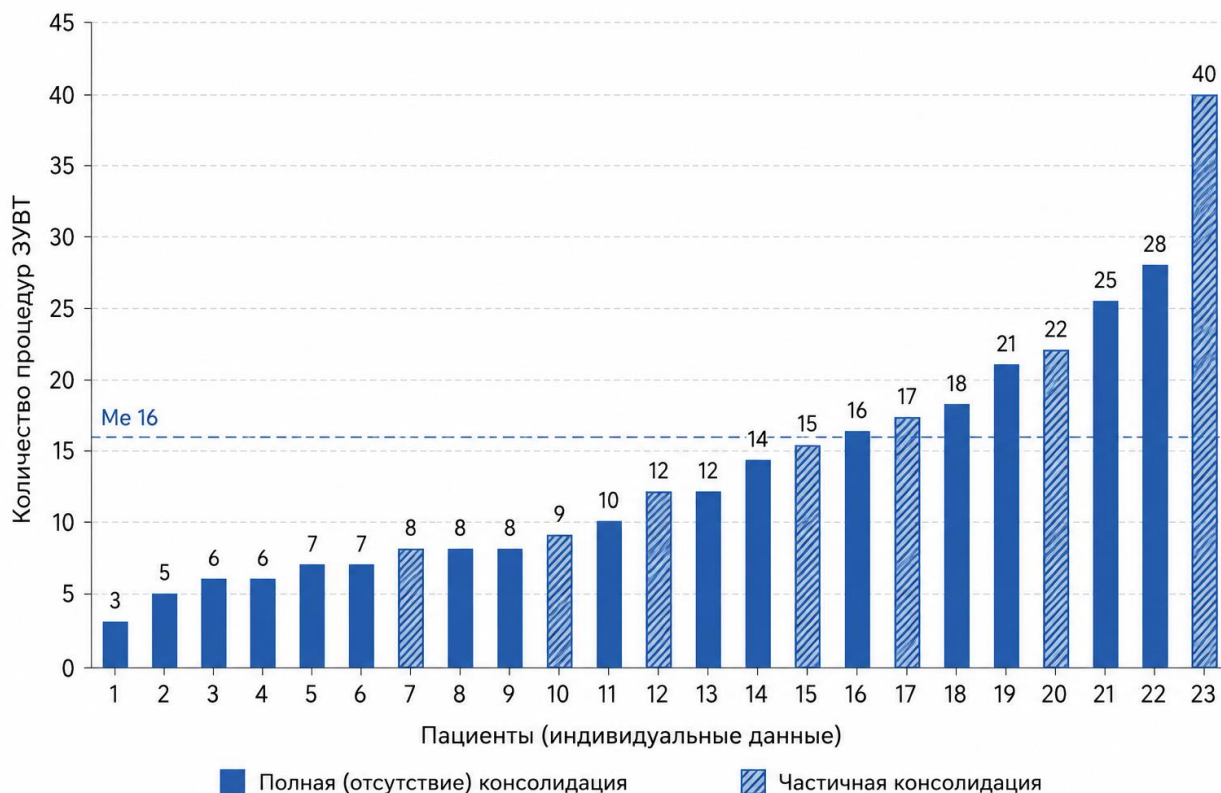
Таблица 3.2. Характеристика курса ЭУВТ у пациентов основной группы

Показатель	Значение
Количество пациентов	23
Количество процедур ЭУВТ, Ме [Q1;Q3]	16 [8;23]
Минимальное количество процедур	3
Максимальное количество процедур	40
Давление	1,5–2,5 Бар
Частота	10–12 Гц
Количество импульсов за процедуру	3000
Интервал между процедурами	≥ 72 часов

Как видно из таблицы 3.2, количество процедур ЭУВТ варьировало в широких пределах и определялось индивидуально. Наиболее длительные курсы лечения наблюдались у пациентов с замедленно срастающимися переломами костей голени и более продолжительными сроками нарушения консолидации.

В процессе лечения значимых осложнений, требовавших прекращения курса терапии, зарегистрировано не было. Наиболее часто отмечались кратковременная локальная болезненность и умеренное усиление боли после процедуры, которые носили транзиторный характер и не требовали дополнительного лечения.

Рисунок 3.2. Индивидуальное распределение количества процедур ЭУВТ



Как видно на рисунке 3.2, количество процедур экстракорпоральной ударно-волновой терапии у пациентов основной группы существенно варьировало и определялось индивидуально в зависимости от локализации перелома, сроков нарушения консолидации и клинико-рентгенологической динамики. Медиана количества процедур составила Me 16 [8;23]. У пациентов с частичной консолидацией, отмеченных штриховкой, как правило, наблюдалась тенденция к более длительным курсам лечения, что могло быть связано с более выраженным нарушением процессов костного сращения.

3.5. Динамика болевого синдрома

Оценка болевого синдрома проводилась у всех пациентов до начала курса лечения и после завершения программы медицинской реабилитации.

Сравнительная динамика показателей ВАШ в основной и контрольной группах представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.3. Динамика болевого синдрома по ВАШ

Показатель	Основная группа (n=23)	Контрольная группа (n=23)	p
ВАШ до лечения, Ме [Q1;Q3]	3 [2;4]	3 [2;4]	>0,05
ВАШ после лечения, Ме [Q1;Q3]	1 [0;1]	1 [1;2]	<0,05
Δ ВАШ	-2	-1	-

Как видно из таблицы 3.3, до начала лечения статистически значимых различий между группами по выраженности болевого синдрома выявлено не было ($p>0,05$).

После завершения курса реабилитации в обеих группах отмечалось снижение интенсивности боли по визуально-аналоговой шкале. Однако в основной группе, получавшей ЭУВТ в составе индивидуальной программы реабилитации, снижение болевого синдрома было более выраженным.

В основной группе медиана ВАШ снизилась с 3 [2;4] до 1 [0;1], тогда как в контрольной группе — с 3 [2;4] до 1 [1;2]. Межгрупповые различия после лечения были статистически значимыми ($p<0,05$).

Полученные результаты свидетельствовали о более выраженной положительной клинической динамике болевого синдрома у пациентов основной группы.

3.6 Клинико-рентгенологическая оценка консолидации

Итоговая клинико-рентгенологическая оценка результатов лечения проводилась через 6 месяцев наблюдения.

Сравнительные результаты консолидации в основной и контрольной группах представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.4 Клинико-рентгенологические результаты лечения

Исход лечения	Основная группа (n=23)	Контрольная группа (n=23)	p
Полная консолидация	18 (78,3%)	13 (56,5%)	<0,05
Частичная консолидация	5 (21,7%)	6 (26,1%)	>0,05
Отсутствие значимой динамики	0	4 (17,4%)	<0,05

Как видно из таблицы 3.4, в основной группе полная клинико-рентгенологическая консолидация была достигнута у 18 пациентов (78,3%), тогда как в контрольной группе — у 13 пациентов (56,5%).

Частичная консолидация наблюдалась у 5 пациентов основной группы и у 6 пациентов контрольной группы. В контрольной группе дополнительно были зарегистрированы 4 случая отсутствия значимой клинико-рентгенологической динамики, тогда как в основной группе подобных случаев отмечено не было.

При анализе рентгенологических данных у пациентов основной группы чаще отмечались:

- формирование более выраженной костной мозоли;
- уменьшение межфрагментарной щели;
- появление признаков ремоделирования костной ткани;
- улучшение переносимости функциональной нагрузки.

У пациентов контрольной группы положительная рентгенологическая динамика также наблюдалась, однако в ряде случаев сохранялись признаки незавершённой консолидации и функциональные ограничения.

Полученные результаты свидетельствовали о более выраженной клинико-рентгенологической положительной динамике у пациентов основной группы, получавших ЭУВТ в составе индивидуальной программы медицинской реабилитации.

3.7 Функциональная динамика

Функциональная оценка пациентов проводилась с использованием шкалы PSFS, гониометрии и шкалы Борга. Анализ выполнялся у пациентов, для которых данные методы были клинически применимы с учётом локализации повреждения и характера функциональных ограничений.

Сравнительная динамика функциональных показателей представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Динамика функциональных показателей в основной и контрольной группах

Показатель	Основная группа	Контрольная группа	p
PSFS до лечения, Ме [Q1;Q3]	3 [2;4]	3 [2;4]	>0,05
PSFS после лечения, Ме [Q1;Q3]	7 [6;8]	5 [4;6]	<0,05
Шкала Борга до лечения, Ме [Q1;Q3]	15 [14;16]	15 [14;16]	>0,05
Шкала Борга после лечения, Ме [Q1;Q3]	11 [10;12]	13 [12;14]	<0,05
Гониометрия до лечения, Ме [Q1;Q3]	78° [65;95]	80° [68;96]	>0,05
Гониометрия после лечения, Ме [Q1;Q3]	112° [100;125]	98° [90;110]	<0,05

Как видно из таблицы 3.5, до начала лечения статистически значимых различий между основной и контрольной группами по функциональным показателям выявлено не было ($p>0,05$).

После завершения курса реабилитации в основной группе отмечалась более выраженная положительная функциональная динамика. Показатели PSFS увеличились с Ме 3 [2;4] до Ме 7 [6;8], что свидетельствовало об улучшении переносимости бытовой и функциональной активности.

Одновременно наблюдалось снижение субъективной тяжести физической нагрузки по шкале Борга — с Ме 15 [14;16] до Ме 11 [10;12]. В контрольной группе положительная динамика также отмечалась, однако была менее выраженной.

При анализе гониометрических показателей в основной группе отмечалось увеличение объёма движений с Ме 78° [65;95] до Ме 112° [100;125], тогда как в контрольной группе положительная динамика была менее выраженной.

Полученные результаты свидетельствовали о более выраженном улучшении функционального состояния у пациентов основной группы, проходивших реабилитацию с включением экстракорпоральной ударно-волновой терапии.

3.8 Сравнительная оценка клинико-рентгенологических результатов основной и контрольной групп

Сравнительный анализ клинико-рентгенологических исходов показал более выраженную положительную динамику у пациентов основной группы, проходивших медицинскую реабилитацию с включением экстракорпоральной ударно-волновой терапии.

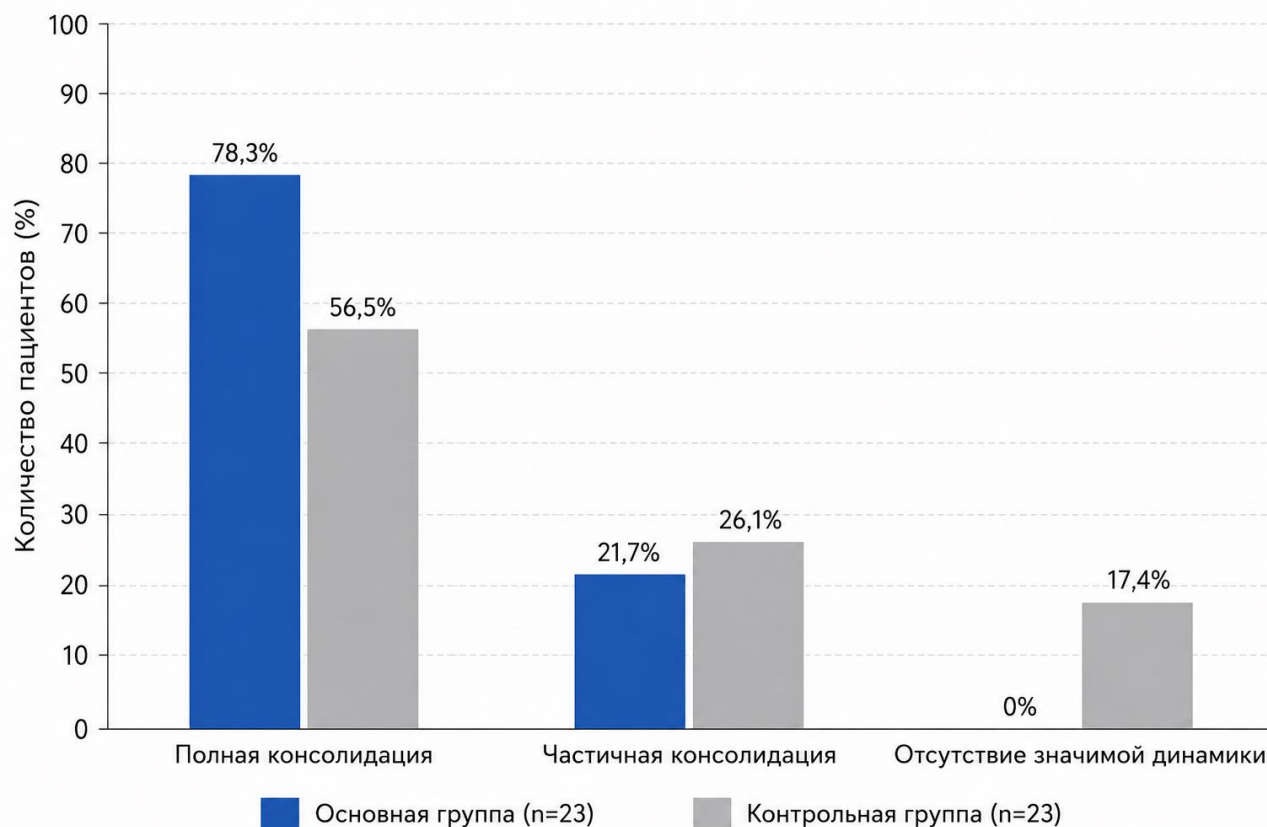
В основной группе полная консолидация была достигнута у 18 из 23 пациентов (78,3%), тогда как в контрольной группе — у 13 из 23 пациентов (56,5%). Отсутствие значимой клинико-рентгенологической динамики наблюдалось только в контрольной группе — у 4 пациентов (17,4%).

У пациентов основной группы чаще отмечались:

- уменьшение или исчезновение межфрагментарной щели;
- формирование более выраженной костной мозоли;
- признаки ремоделирования костной ткани;
- улучшение переносимости функциональной нагрузки.

В контрольной группе положительная динамика также наблюдалась, однако в ряде случаев сохранялись признаки незавершённой консолидации, остаточный болевой синдром и функциональные ограничения.

Сравнительные результаты лечения представлены на рисунке 3.3.



Как видно из рисунка 3.3, применение ЭУВТ в составе индивидуальной программы медицинской реабилитации ассоциировалось с более высокой частотой полной консолидации и отсутствием случаев отрицательной клинικο-рентгенологической динамики.

3.9 Переносимость экстракорпоральной ударно-волновой терапии

В процессе проведения экстракорпоральной ударно-волновой терапии значимых осложнений, требовавших прекращения курса лечения или изменения реабилитационной программы, зарегистрировано не было.

Наиболее часто у пациентов основной группы отмечались кратковременные местные реакции в виде:

- умеренной болезненности в зоне воздействия;
- кратковременного усиления болевого синдрома после процедуры;
- локального дискомфорта в течение первых суток после ЭУВТ.

Указанные реакции носили транзиторный характер, самостоятельно регрессировали и не требовали дополнительного медикаментозного лечения.

Случаев:

- инфекционных осложнений;
- нарушения стабильности фиксации;
- ухудшения рентгенологической картины;
- необходимости экстренного хирургического вмешательства,

связанных с проведением ЭУВТ, зарегистрировано не было.

Большинство пациентов удовлетворительно переносили процедуры ЭУВТ и завершили курс лечения в полном объёме.

Полученные данные свидетельствовали о хорошей переносимости радиальной экстракорпоральной ударно-волновой терапии при её применении в составе индивидуальной программы медицинской реабилитации у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей.

3.10. Обсуждение результатов исследования

Полученные результаты свидетельствуют о положительной клинικο-рентгенологической динамике у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей при включении экстракорпоральной ударно-волновой терапии в состав индивидуальной программы медицинской реабилитации.

В основной группе отмечалась более высокая частота полной консолидации, более выраженное снижение болевого синдрома и лучшие показатели функционального восстановления по сравнению с контрольной группой. Наиболее выраженные различия наблюдались по динамике боли по ВАШ, частоте полной консолидации и функциональным показателям.

Полученные результаты согласуются с современными литературными данными, посвящёнными применению ударно-волновой терапии при delayed union и nonunion длинных костей. В ряде исследований сообщается о положительном

влиянии ЭУВТ на процессы репаративного остеогенеза, микроциркуляцию, ангиогенез и ремоделирование костной ткани.

Следует отметить, что большинство опубликованных исследований посвящено применению фокусированной ударно-волновой терапии, тогда как в настоящем исследовании использовался радиальный режим воздействия. Это представляет практический интерес, поскольку радиальная ЭУВТ является более доступной в условиях реабилитационных центров и чаще применяется в рутинной клинической практике.

Важной особенностью настоящего исследования являлось применение ЭУВТ не как изолированного метода лечения, а как компонента комплексной программы медицинской реабилитации, включавшей лечебную физкультуру, дозированную нагрузку и динамическое клинико-рентгенологическое наблюдение.

При анализе результатов необходимо учитывать ограничения исследования. К основным ограничениям относились малый объём выборки, отсутствие рандомизации, клиническая неоднородность пациентов по локализации переломов и вариантам хирургического лечения, а также отсутствие независимой ослеплённой оценки рентгенологических данных.

Несмотря на указанные ограничения, полученные результаты демонстрировали тенденцию к более выраженной положительной клинико-рентгенологической и функциональной динамике у пациентов основной группы.

Полученные данные позволяют рассматривать экстракорпоральную ударно-волновую терапию как перспективный дополнительный компонент индивидуальных программ медицинской реабилитации у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей.

3.11. Клинические наблюдения

Клиническое наблюдение 1

Пациент 30 лет с замедленной консолидацией большеберцовой и малоберцовой костей через 4 месяца после травмы. Исходная боль по ВАШ составила 2 балла. Проведено 7 процедур ЭУВТ. После курса лечения боль по ВАШ снизилась до 0 баллов. Через 6 месяцев зарегистрирована консолидация.

Данное наблюдение показывает благоприятную динамику при раннем сроке нарушения консолидации и поражении костей голени.



Рисунок 3.4 – Клиническое наблюдение 1. Замедленная консолидация большеберцовой и малоберцовой костей

Рисунок 3.4 демонстрирует динамику костного сращения у пациента с замедленной консолидацией большеберцовой и малоберцовой костей

. На фоне индивидуальной программы реабилитации с включением ЭУВТ отмечено уменьшение боли с 2 до 0 баллов и достижение консолидации через 6 месяцев.

Клиническое наблюдение 2

Пациент 40 лет с замедленной консолидацией большеберцовой кости через 6 месяцев после предшествующего лечения. Исходная боль по ВАШ составила 4 балла. Проведено 16 процедур ЭУВТ. После курса лечения боль снизилась до 1 балла. Через 6 месяцев зарегистрирована консолидация.

Данное наблюдение отражает положительную динамику при поражении длинной кости и более длительном сроке нарушения консолидации.

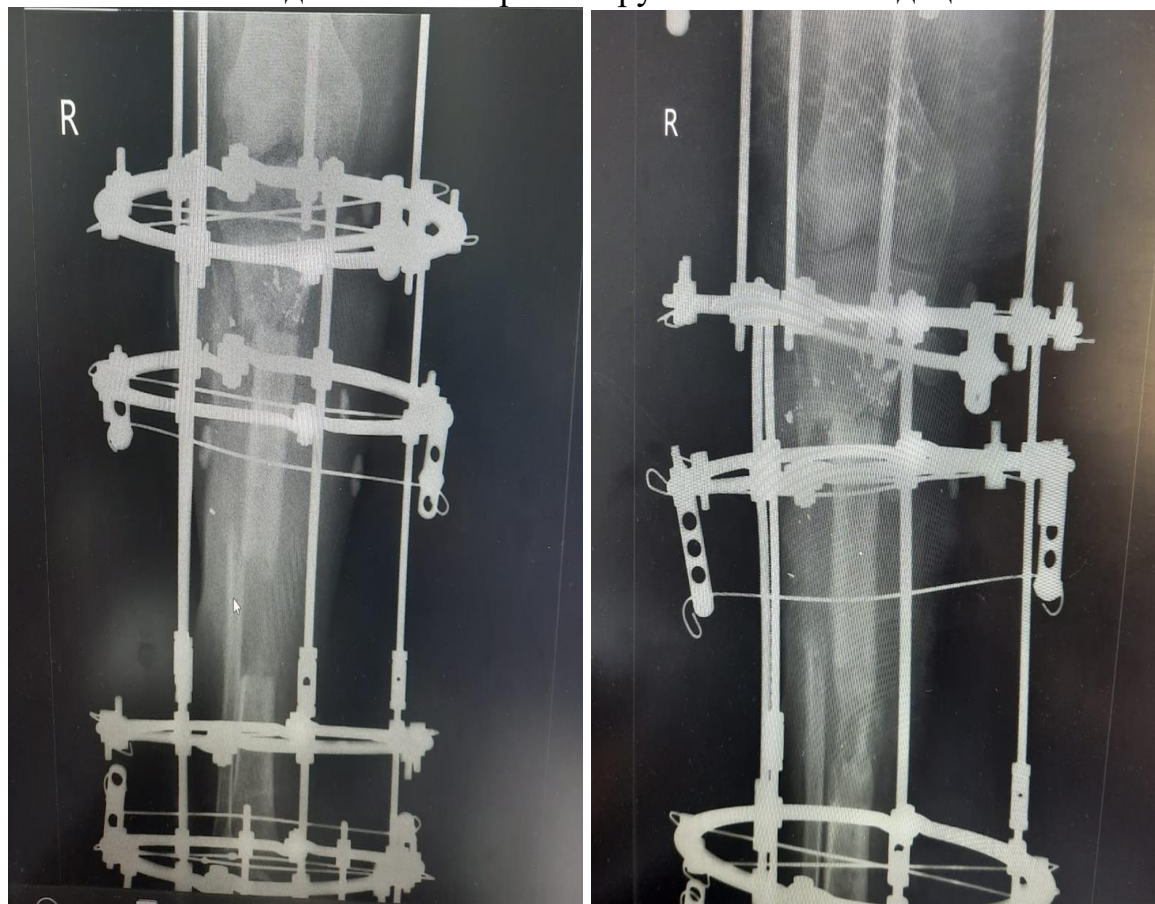


Рисунок 3.5 – Клиническое наблюдение 2. Замедленная консолидация большеберцовой кости с достижением консолидации.

Рисунок 3.5 отражает клинико-рентгенологическую динамику у пациента с поражением большеберцовой кости. Несмотря на срок нарушения консолидации 6 месяцев, после курса ЭУВТ в составе реабилитационной программы отмечено снижение боли и достижение консолидации.

Клиническое наблюдение 3

Пациент 63 лет с замедленной консолидацией большеберцовой кости через 6 месяцев после предшествующего лечения. Исходная боль по ВАШ составила 5

баллов. Проведено 38 процедур ЭУВТ. После курса лечения боль снизилась до 3 баллов. Через 6 месяцев отмечена частичная консолидация.

Данное наблюдение показывает, что при более сложной клинической ситуации положительная динамика может быть неполной. Случай важен для определения границ метода и не позволяет трактовать ЭУВТ как универсальное решение при всех вариантах нарушения костного сращения.



Рисунок 3.6 – Клиническое наблюдение 3. Частичная консолидация большеберцовой кости

Рисунок 3.6 показывает случай частичной консолидации большеберцовой кости. Несмотря на снижение боли с 5 до 3 баллов и положительную лучевую динамику, полного завершения консолидации через 6 месяцев не отмечено. Данное наблюдение демонстрирует ограничения метода у пациентов с более длительным сроком нарушения консолидации и сложным клиническим течением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замедленно срастающиеся переломы трубчатых костей остаются актуальной клинической проблемой современной травматологии и медицинской реабилитации, сопровождаясь длительным болевым синдромом, ограничением функции конечности, снижением переносимости физической нагрузки и увеличением сроков восстановления пациентов.

В настоящем исследовании проведена сравнительная оценка результатов медицинской реабилитации 46 пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей и нарушением формирования костного регенерата. Основную группу составили пациенты, получавшие экстракорпоральную ударно-волновую терапию в составе индивидуальной программы реабилитации, контрольную группу — пациенты, проходившие стандартную реабилитацию без применения ЭУВТ.

Полученные результаты продемонстрировали более выраженную положительную клинико-рентгенологическую и функциональную динамику у пациентов основной группы. Через 6 месяцев наблюдения полная консолидация была достигнута у 78,3% пациентов основной группы против 56,5% в контрольной группе. В контрольной группе дополнительно наблюдались случаи отсутствия значимой клинико-рентгенологической динамики, тогда как в основной группе подобных случаев зарегистрировано не было.

У пациентов основной группы отмечалось более выраженное снижение болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале, улучшение функционального состояния по шкале PSFS, увеличение объёма движений и снижение субъективной тяжести физической нагрузки по шкале Борга.

Применение радиальной экстракорпоральной ударно-волновой терапии в составе комплексной программы медицинской реабилитации хорошо переносилось пациентами. Значимых осложнений, требовавших прекращения лечения или изменения тактики ведения пациентов, зарегистрировано не было.

Следует отметить, что в большинстве опубликованных исследований рассматривается применение фокусированной ударно-волновой терапии, тогда как в настоящем исследовании использовалась радиальная ЭУВТ. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения радиального режима воздействия в условиях практической реабилитационной медицины.

Вместе с тем результаты исследования необходимо интерпретировать с учётом ряда ограничений, включая малый объём выборки, отсутствие рандомизации, клиническую неоднородность пациентов и отсутствие независимой ослеплённой оценки рентгенологических данных.

Таким образом, включение экстракорпоральной ударно-волновой терапии в состав индивидуальной программы медицинской реабилитации ассоциировалось с более выраженной положительной клинико-рентгенологической и

функциональной динамикой у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей.

ВЫВОДЫ

1. У пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей включение экстракорпоральной ударно-волновой терапии в состав индивидуальной программы медицинской реабилитации сопровождалось более выраженным снижением болевого синдрома по сравнению со стандартной реабилитацией. В основной группе медиана ВАШ снизилась с Ме 3 [2;4] до Ме 1 [0;1], тогда как в контрольной группе — с Ме 3 [2;4] до Ме 1 [1;2], при статистически значимых межгрупповых различиях после лечения ($p < 0,05$).

2. Применение экстракорпоральной ударно-волновой терапии ассоциировалось с более выраженным улучшением функционального состояния пациентов. В основной группе отмечалось увеличение показателей PSFS с Ме 3 [2;4] до Ме 7 [6;8], снижение субъективной тяжести физической нагрузки по шкале Борга с Ме 15 [14;16] до Ме 11 [10;12], а также увеличение объёма движений по данным гониометрии с Ме 78° [65;95] до Ме 112° [100;125], что превышало показатели контрольной группы.

3. Включение радиальной экстракорпоральной ударно-волновой терапии в состав комплексной программы медицинской реабилитации сопровождалось более высокой частотой полной клинико-рентгенологической консолидации. Через 6 месяцев наблюдения полная консолидация была достигнута у 19 из 23 пациентов (82,6%) основной группы и у 13 из 23 пациентов (56,5%) контрольной группы. Отсутствие значимой клинико-рентгенологической динамики наблюдалось только в контрольной группе — у 4 пациентов (17,4%), тогда как в основной группе подобных случаев зарегистрировано не было.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Экстракорпоральную ударно-волновую терапию целесообразно рассматривать как дополнительный компонент комплексной программы медицинской реабилитации у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей при наличии стабильной фиксации и отсутствии показаний к повторному хирургическому вмешательству.
2. Перед назначением экстракорпоральной ударно-волновой терапии пациентам с нарушением костной консолидации рекомендуется проведение комплексной клинико-рентгенологической оценки, включающей анализ выраженности болевого синдрома, функциональных ограничений, состояния фиксации, динамики костного регенерата и переносимости функциональной нагрузки.
3. Наиболее перспективным применением ЭУВТ представляется у пациентов с признаками сохранённого репаративного потенциала костной ткани, положительной рентгенологической динамикой, отсутствием выраженного костного дефекта и стабильными механическими условиями в зоне перелома.
4. При проведении радиальной экстракорпоральной ударно-волновой терапии у пациентов с замедленно срастающимися переломами трубчатых костей могут использоваться параметры воздействия в диапазоне:
 - давление — 1,5–2,5 Бар;
 - частота — 10–12 Гц;
 - количество импульсов — около 3000 за процедуру;
 - интервал между процедурами — не менее 72 часов.
5. Количество процедур ЭУВТ рекомендуется определять индивидуально с учётом локализации повреждения, сроков нарушения консолидации, выраженности болевого синдрома, клинико-рентгенологической динамики и переносимости лечения.
6. Экстракорпоральную ударно-волновую терапию рекомендуется сочетать с лечебной физкультурой, дозированной механической нагрузкой и динамическим функциональным сопровождением пациента, поскольку восстановление функции конечности является важным компонентом медицинской реабилитации при нарушении костного сращения.
7. Оценка эффективности реабилитации пациентов с замедленно срастающимися переломами должна включать не только рентгенологический контроль консолидации, но и анализ динамики болевого синдрома, функционального состояния, переносимости физической нагрузки и объёма движений.
8. В процессе лечения рекомендуется динамическое клинико-рентгенологическое наблюдение с выполнением рентгенографии не менее чем в

двух проекциях через 1, 3 и 6 месяцев наблюдения, а при необходимости — дополнительное проведение компьютерной томографии.

9. Применение ЭУВТ не рекомендуется рассматривать как альтернативу хирургическому лечению при нестабильности фиксации, выраженном костном дефекте, активном инфекционном процессе или наличии прямых показаний к реконструктивному оперативному вмешательству.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hak D.J., Fitzpatrick D., Bishop J.A. et al. Delayed union and nonunions: epidemiology, clinical issues, and financial aspects // *Injury*. – 2014. – Vol. 45(Suppl 2). – P. S3–S7.
2. Nicholson J.A., Makaram N., Simpson A.H.R.W. Fracture nonunion: epidemiology and current concepts // *Bone & Joint Research*. – 2021.
3. Augat P., Simon U., Liedert A., Claes L. The role of mechanical stimulation in enhancement of bone healing // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S78–S83.
4. Calori G.M., Phillips M., Jeetle S. et al. Classification of non-union: need for a new scoring system? // *Injury*. – 2008. – Vol. 39(Suppl 2). – P. S59–S63.
5. Giannoudis P.V., Einhorn T.A., Marsh D. Fracture healing: the diamond concept // *Injury*. – 2007. – Vol. 38(Suppl 4). – P. S3–S6.
6. Cheng J.H., Wang C.J. Biological mechanism of shockwave in bone // *International Journal of Surgery*. – 2015.
7. Lv Y., Wang X., Liu Y. et al. Mechanisms of extracorporeal shock wave therapy in fracture healing // *Frontiers in Endocrinology*. – 2023.
8. Mittermayr R., Haffner N., Feichtinger X. et al. The role of shockwaves in the enhancement of bone repair – from basic principles to clinical application // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S84–S90.
9. Sansone V., Ravier D., Pascale V. et al. Extracorporeal Shockwave Therapy in the Treatment of Nonunion in Long Bones: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Journal of Clinical Medicine*. – 2022. – Vol. 11, №7. – P. 1977. DOI: 10.3390/jcm11071977.
10. Willems P., De Smet L., Broos P. et al. Extracorporeal shock wave treatment for delayed union and nonunion fractures: a systematic review // *Journal of Orthopaedic Trauma*. – 2019. – Vol. 33, №2. – P. 97–103.
11. Wu K.T., et al. Prognostic factors of extracorporeal shock wave therapy in long bone nonunion // 2024.
12. Shang X., Li Y., Wang T. Advances in regenerative rehabilitation and fracture healing // *Frontiers in Rehabilitation Sciences*. – 2025.
13. Simplicio C.L., Purita J., Murrell W. et al. Extracorporeal shock wave therapy mechanisms in musculoskeletal regenerative medicine // *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. – 2020. – Vol. 11. – P. S309–S318.
14. Yang S., Zhang Y., Liang H. et al. Clinical investigation of extracorporeal shock wave therapy combined with kinesiotherapy in delayed union of tibial and fibular fractures // *American Journal of Translational Research*. – 2025. – Vol. 17.
15. Pliska B.T., Pabian P.S., Hegedus E.J. Functional outcome measures in musculoskeletal rehabilitation // *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. – 2022.

16. Nicholson J.A., Yapp L.Z., Keating J.F., Simpson A.H.R.W. Monitoring of fracture healing. Update on current and future imaging modalities to predict union // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S29–S34.
17. Nicholson J.A., Makaram N., Simpson A.H.R.W., Keating J.F. Fracture nonunion in long bones: a literature review of risk factors and surgical management // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S3–S11.
18. Marsell R., Einhorn T.A. The biology of fracture healing // *Injury*. – 2011. – Vol. 42. – P. 551–555.
19. Claes L., Recknagel S., Ignatius A. Fracture healing under healthy and inflammatory conditions // *Nature Reviews Rheumatology*. – 2012. – Vol. 8. – P. 133–143.
20. Marmor M.T., Matz J., McClellan R.T. et al. Use of Osteobiologics for Fracture Management: The When, What, and How // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S35–S43.
21. Marmor M.T., Matz J., McClellan R.T. et al. Use of Osteobiologics for Fracture Management: The When, What, and How // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S35–S43.
22. Marmor M.T., Matz J., McClellan R.T. et al. Use of Osteobiologics for Fracture Management: The When, What, and How // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S35–S43.
23. Henssler L., Kerschbaum M., Mukashevich M.Z. et al. Molecular enhancement of fracture healing // *Injury*. – 2021. – Vol. 52(Suppl 2). – P. S49–S57.
24. Yang Y., Zhao X., Liu Y. Network meta-analysis of biological stimulation therapies for nonunion // *Orthopaedic Surgery*. – 2022.
25. Pliska B.T., Pabian P.S., Hegedus E.J. Functional outcome measures in musculoskeletal rehabilitation // *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. – 2022.
26. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion // *Medicine & Science in Sports & Exercise*. – 1982. – Vol. 14, №5. – P. 377–381.
27. Stratford P., Gill C., Westaway M., Binkley J. Assessing disability and change on individual patients: a report of a patient specific measure // *Physiotherapy Canada*. – 1995. – Vol. 47. – P. 258–263.
28. Norkin C.C., White D.J. Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry. – 5th ed. – Philadelphia: F.A. Davis Company, 2016.
29. Wade D.T. Outcome measures for clinical rehabilitation trials // *Rehabilitation Medicine*. – 2003. – Vol. 17. – P. 1–7.
30. Wang Y., Shi Z., Liu X. Post-surgical fracture nonunion: mechanisms and therapeutic perspectives // *Experimental and Therapeutic Medicine*. – 2023.
31. Haddouti E.M., Walter C., Rolvien T. et al. Shockwave therapy enhances mesenchymal stem cell osteogenic differentiation // *Stem Cell Research & Therapy*. – 2023.

32. Kobayashi M., Chijimatsu R., Yoshikawa H., Yoshida K. Extracorporeal shock wave therapy accelerates endochondral ossification and fracture healing in a rat femur delayed-union model // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 2020. DOI: 10.1016/j.bbrc.2020.07.084.
33. Ryskalin L., Morucci G., Natale G. et al. Molecular Mechanisms Underlying the Pain-Relieving Effects of Extracorporeal Shock Wave Therapy // Life. – 2022. – Vol. 12. – P. 743. DOI: 10.3390/life12050743.
34. Tenforde A.S., Fredericson M., Sayres L.C. Best practices for extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal medicine // PM&R. – 2022.
35. Hempe B., Fischer S., Rupp M. et al. Extracorporeal shock wave therapy for fracture nonunion: a retrospective analysis of 97 patients // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2023.