

Государственная образовательная организация высшего
профессионального образования «Донецкий национальный
медицинский университет имени М.Горького» МЗ
Донецкой Народной Республики

На правах рукописи

КУЗЬМЕНКО ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**МЕТОД СОНОГРАФИИ В КОМПЛЕКСНОЙ
ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ КОНСОЛИДАЦИИ
ПЕРЕЛОМОВ**

3.1.8 - травматология и ортопедия

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата
медицинских наук

Научный руководитель:
д.мед.н., профессор
Лобанов Григорий Викторович

Донецк-2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1. Роль сонографии в практике врача травматолога-ортопеда (обзор литературы)	11
1.1.Интервенционная ультразвуковая диагностика как метод диагностики и контроля в травматологии и ортопедии: история прогресса.....	11
1.2. Преимущества использования ультразвука в практике врача травматолога-ортопеда.....	20
1.3. Визуализация нормальной и замедленной консолидации костных отломков.....	27
1.4. Изучение прогнозирования использования тимидинфосфорилазной активности тромбоцитарного фактора роста (PDGF) как маркера скорости остеорегенерации и влияния применения тромбоцитарно-обогащенной плазмы на репаративные процессы.....	33
РАЗДЕЛ 2. Ретроспективное исследование публикационной научной активности применения в ортопедо- травматологической практике сонографического метода исследования	40
РАЗДЕЛ 3. Материалы и методы исследования.....	55
3.1. Материал исследования.....	55
3.2.Дизайн исследования.....	57
3.3.Методы исследований.....	59
3.3.1. Рентгенография.....	60
3.3.2. Ультразвуковое исследование.....	60

3.3.3.Методы лабораторных исследований.....	62
3.4. Методы статистической обработки полученных результатов.....	64
РАЗДЕЛ 4. Сравнительная оценка применения сонографического и рентгенологического методов в ортопедо-травматологической практике	65
РАЗДЕЛ 5. Взаимосвязь между сонографической картиной васкуляризации зоны консолидации перелома с биохимическим маркером ангиогенеза.....	102
ВЫВОДЫ	119
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	122
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. По опубликованным данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) травматизм, как умышленный, так и непреднамеренный, является третьей ведущей причиной смертности в Европейском регионе. В свою очередь - это является причиной нарушения экономического и социального развития любого государства (Reyhan Orhon, 2014). Ежегодно в мире в результате травм и других несчастных случаев (внешних причин) погибает более 5 миллионов человек, что составляет около 9% от общего числа смертей, а сам травматизм является одной из основных причин в структуре «глобального бремени болезней» и, соответственно, экономических потерь. Причем следует отметить, что более 70% смертности от внешних причин приходится на трудоспособный возраст (Frydrych L.M., 2019).

Непрерывно развивающаяся динамичная научная среда требует от клиницистов выполнения широкого диапазона различных методик и технологий, как на этапе диагностики, так и при выполнении различных травматолого-ортопедических вмешательств и дальнейшего мониторинга качества оказанной помощи.

При навигации повреждений костей в операционной широко используются рентгенологические методы (традиционная рентгенография и электроннооптическое преобразование (ЭОП) интраоперационно). Способы лучевой изменились с момента внедрения в практическую медицину цифровых методов, в том числе и рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии (Jason Heath Vela, 2017). Использование мультиспиральной компьютерной томографии и магнитно-

резонансной томографии решает отдельные вопросы диагностики и контроля за лечением ортопедо-травматологических больных, в том числе и остеорепарацией. Ограничена доступность этих методов при острой травме, при лечении пациента методом постоянного скелетного вытяжения или при нахождении пациента на искусственной вентиляции легких. Ограничением применения рентгенографии и компьютерной томографии является получаемая пациентом лучевая нагрузка, особенно у новорожденных, детей младшего возраста и беременных женщин, а также у больных с диагностированными онкологическими заболеваниями, что в травматологии и ортопедии имеет особое значение ввиду высокой кратности повторов исследований (Harb A.H., 2014).

В связи с этим актуальными являются исследования по использованию для диагностики и контроля за лечением повреждений опорно-двигательного аппарата методов сонографических методов, обладающих широкой доступностью, высокой информативностью в режиме реального времени и исключающих или снижающих лучевую нагрузку на пациента.

Оценка степени повреждения окружающих кости тканей и внутренних органов рентгенографическим методом проигрывает сонографическому, поскольку не позволяет корректно визуализировать всей реальной картины травмы и оценивает повреждение только костной ткани. При этом особый научный интерес представляет оценка остеорепарации и динамический контроль нормальной консолидации костных отломков. Сонографический метод является единственным инструментальным методом, с помощью которого можно объективно оценить ангиогенез в зоне остеорепарации, а значит можно оценить возможность консолидации костных отломков (Suiyi Wu, 2018). При этом в современной практике врача травматолога-ортопеда отсутствуют какие-

либо биохимические маркеры, по которым можно прогнозировать васкуляризацию зоны остеорегенерации.

В доступной для анализа научной литературе отсутствуют работы, отражающие совместные исследования использования ультразвука и биохимических маркеров у ортопедо-травматологических пациентов на разных сроках при замедленной и нормальной консолидации костных отломков. При этом наличие высокоспецифичного и чувствительного маркера нормальной консолидации костных отломков позволило бы своевременно менять тактику лечения больных на разных этапах оказания ортопедо-травматологической помощи (Donatella Granchi, 2017; Марков Д.А. 2008; Zimmermann G., 2007). Такие критерии сонографического метода как высокая мобильность, возможность работы в сложных условиях, возможность одновременного выполнения нескольких задач по диагностике, значительно сокращает время исследования. Однако до настоящего времени не существует общепринятых алгоритмов сонографической диагностики на различных этапах оказания ортопедо-травматологической помощи, что и определило актуальность нашего исследования.

Цель исследования: улучшить результаты диагностики и лечения ортопедо-травматологических больных используя возможности сонографического метода.

Для достижения цели исследования поставлены **следующие задачи:**

1. Провести ретроспективное исследование публикационной научной активности применения в ортопедо-травматологической практике сонографического метода исследования.
2. Оценить информационно-диагностическую ценность сонографического метода при визуализации повреждений различной локализации.

3. Разработать алгоритм исследования для сонографического метода диагностики на различных этапах оказания ортопедо-травматологической помощи.

4. Оценить возможности сонографической навигации на интраоперационном этапе лечения повреждений различной локализации.

5. Изучить взаимосвязь сонографической картины васкуляризации зоны консолидации костных отломков с предложенным биохимическим маркером ангиогенеза.

Объект исследования: пациенты с травмами различного генеза и локализации.

Предмет исследования: применение сонографического метода при обследовании и лечении больных ортопедо-травматологического профиля.

Методы исследования: клинические, инструментальные, клинικο-лабораторные и статистические. Научная новизна полученных результатов.

Научная новизна. Впервые показано, что использование сонографической визуализации при навигации повреждений сегментов опорно-двигательного аппарата способствует правильной адаптации костных фрагментов, для обеспечения их сращения. Впервые доказано, что применение сонографии на этапах лечения позволяет корректно оценить костное сращение и формирование регенерата. Впервые установлено, что использование стандартных плоскостей для оценки смещения костных фрагментов статистически достоверно для сонографического метода по сравнению с рентгенологическим. Впервые установлено, что сонографическая картина нарушения остеорепарации сопровождается снижением тимидинфосфорилазной активности тромбоцитарного фактора роста (ТФ-PDGF) в сыворотке крови.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. На основании результатов исследования внедрен в практику алгоритм использования сонографического метода для диагностики повреждений сегментов опорно-двигательного аппарата на этапах оказания медицинской помощи.
2. Практически доказана возможность применения сонографического метода для контроля стояния костных отломков, их сопоставления и сращения.
3. Установлен биохимический маркер нормальной и замедленной консолидации костных отломков, сопоставленный с сонографической картиной зоны остеорегенерации.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Практическое применение сонографического метода в комплексной диагностике травмы костей скелета на всех этапах оказания ортопедо-травматологической помощи подтверждается публикационной информационно-научной активностью.
2. Разработанный алгоритм сонографической диагностики позволяет оценить наличие, расположение и остеорепарацию костных отломков по заявленным критериям информативности.
3. Оценка активности тимидинфосфорилазы - маркер ангиогенеза/консолидации и динамики остеорепарации во взаимосвязи с сонографическим методом исследования ангиогенеза.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Описанные в работе данные – это результат выполнения диссертантом экспериментальных исследований. Автором самостоятельно проведен патентно-информационный поиск, анализ актуальности и степени изучения проблемы, определены направления исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, проведены обзор

и анализ литературы по теме диссертационной работы, обозначены методологические подходы, отработаны модели проведения экспериментальных исследований, все методики и исследования проведены диссертантом лично. Кроме того, автором проведен анализ, систематизация и статистическая обработка результатов исследования, разработаны основные положения диссертации. Обоснованы научные выводы и рекомендации для научного и практического использования полученных результатов. Комиссией по проверке состояния первичной документации диссертационной работы установлено, что имеющиеся результаты соответствуют определенным разделам диссертации, объективно подтверждают достоверность исследования. Выводы вытекают из полученных результатов и соответствуют фактическому материалу. В работе использованы современные методы исследования. Все исследования были проведены на аппаратуре, которая прошла метрологический контроль, что подтверждается актом метрологического заключения. Проверено наличие таблиц, графиков, вероятность проведенной статистической обработки материала. Проверка первичной документации свидетельствует о полной достоверности всех материалов, при изучении и анализе которых написана диссертация. Результаты исследования докладывались на: международной конференции «Травма 2018: Мультидисциплинарный подход», г. Москва, 2018 г.; на IV международной научно-практической конференции прикаспийских государств «Актуальные вопросы современной медицины», Астрахань, 2019 г.

Личный вклад соискателя. Диссертантом разработана концепция диссертационной работы, проведена разработка основных теоретических и практических положений диссертации, проведен анализ литературных источников. Диссертантом обоснован выбор алгоритма обследования, проведены клинические исследования.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 научных работ, из них: 5 – статей в рецензируемых журналах и сборниках и 3 тезиса научных докладов на международных конференциях.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа выполнена по общепринятому для научных работ плану и состоит из вступления, обзора литературы, ретроспективного анализа публикационной активности, материалов и методов исследования, раздела собственных исследований, анализа и обобщения результатов, выводов и списка использованной литературы. Библиографический список вмещает 185 наименований работ, из них – 80 кириллицей и 105 латиницей. Текст распечатан на 145 страницах машинописного текста, иллюстрированный 11 таблицами и 41 рисунком.

РАЗДЕЛ 1. РОЛЬ СОНОГРАФИИ В ПРАКТИКЕ ВРАЧА ТРАВМАТОЛОГА-ОРТОПЕДА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1.Интервенционная ультразвуковая диагностика как метод диагностики и контроля в травматологии и ортопедии: история прогресса.

Современная медицина в настоящее время уделяет достаточно большое внимание изменяющимся методам лучевой диагностики, которую часто называют «медицинской визуализацией». В данном термине объединены на первый взгляд разные методы исследования, но единые одной целью - получить наиболее информативное изображение органов и тканей человеческого организма в рамках клинического и профилактического обследования пациента.

История лучевой диагностики берет свое начало с момента появления рентгенологического метода, который до сих пор является самым распространенным методом исследования в медицине в целом и в травматологии и ортопедии в частности. С помощью методов лучевой диагностики в травматологии и ортопедии определяется подавляющее большинство всех первичных диагнозов, а контроль течения заболевания вообще немислим без применения этих методов.

Ведущее место в практике врача травматолога занимает лечение переломов костей различных сегментов опорно-двигательного аппарата (ОДА) человека, а также лечение дегенеративно -дистрофических процессов, одной из причин которых является ранее перенесенная травма скелета.

На протяжении жизни большому количеству людей приходится переносить один или несколько переломов. Перелом – это нарушение целостности кости в результате травмирующего воздействия. Наряду с костью во время травмы страдают и окружающие ткани. Чаще наблюдается нарушение целостности близлежащих мышц, реже возникает сдавление или разрыв нервов и сосудов, но травматизация мягких тканей может оказаться не менее, а, то и более важной при определении тактики и объема хирургического лечения таких пациентов [121].

Классическому методу рентгенографического исследования и в настоящее время принадлежит ведущее место при диагностике переломов различной локализации [99,106,110]. Основными клиническим признаками перелома кости являются визуализация линии перелома и смещения костных отломков. Линия перелома хорошо видна в костной структуре как в спонгиозном так и в кортикальном слое кости [68]. Трещины, переломы кости без смещения, нарушения хрящевой ткани на аналоговой рентгенограмме отражены недостаточно, визуализация возможна лишь при внимательном или систематическом рассмотрении контуров кортикального слоя в обеих проекциях либо при помощи цифровой рентгенографии [171].

Патологоанатомически, а, следовательно, и рентгенологически, выделяют такие стадии регенерации перелома:

- первичная соединительнотканная (провизорная) мозоль. В виду отсутствия в тканях мозоли кости солей кальция, визуализировать ее на рентгенограмме не возможно. В данный период диагностика происходит по оценке увеличения щели перелома [68];

- остеолидная мозоль, характеризуется возможностью пальпации плотного образования, фиксирующего концы отломков. Солей кальция

все еще нет, поэтому рентгенологически увидеть остеοидную мозоль на фоне окружающих тканей удастся лишь на структурных снимках [74,87];

- костная мозоль, при рентгенографии очаги окостенения видны на 30-35 день после травмы. Мозоль имеет обычную костную структуру, на фоне которой отчетливо видны грубые продольные костные балки, расположенные параллельно оси кости. Костномозговой канал имеет различную форму и размеры, у конца отломков костная мозоль переходит в утолщенную надкостницу, слоистого строения. Линия перелома практически не видна, остеопоротические изменения области перелома достигает максимального значения [68,102].

Начало применения диагностического ультразвука в исследовании костно-мышечной системы положил R. Graf в 1981 году, применив ультрасонографию для диагностики дисплазии тазобедренных суставов у детей в возрасте до 1 года [102]. Поэтому первоначально, большая часть работ, была посвящена изучению эхо-анатомии крупных суставов, проблематике дисплазии тазобедренных суставов, а также совершенствованию методологии эхографии тазобедренных суставов новорожденных и детей [109]. Только в 1983 году впервые появились первые попытки сопоставить диагностическую ценность сонографического метода исследования с другими лучевыми методами визуализации заболеваний и повреждений ОДА [93]. При этом, авторы оценивали различные мягкотканые образования с помощью компьютерной томографии (КТ), и сопоставляли с данными сонографических исследований того же образования. Проводилась дифференциальная диагностика очаговых процессов, оценивались размеры, локализация, связь с анатомическими структурами. Интересно, что в результате данного сравнительного анализа авторы пришли к заключению, что сонографический метод диагностики более полезный для исследования

дистальных отделов конечностей, нежели диагностика этой же локализации с использованием метода компьютерной томографии (КТ). Внимание исследователей обращается и к возможностям ультра-звуковой диагностики (УЗД) для оценки острых травм ОДА и их последствий, а именно закрытых повреждений ахиллова сухожилия и сухожилия четырехглавой мышцы бедра [91]. Авторы оценили ультразвуковую диагностику, как полезный метод в диагностике повреждений и заболеваний сухожилий, ввиду их поверхностного расположения В. Fornage с соавторами применили сонографический метод диагностики в визуализации инородных тел мягких тканей конечностей, а в качестве эталонного метода для сравнения использовали рентгенографию, полученную на маммографическом оборудовании. Выводом исследователей стало то, что сонографический метод исследования в визуализации инородных тел мягких тканей конечностей, особенно не рентгеноконтрастных является более чувствительным, а также позволяет визуализировать трехмерную локализацию инородных тел [104]. В последующие годы наблюдалось обобщение и систематизация информации по методологии мышечно-скелетных сонографических исследований пациентам ортопедо-травматологического профиля [153]. В вышеуказанных работах, помимо прочего, авторы приходят к выводу, что эхография дает ценную информацию для оперативного вмешательства у изученных групп пациентов.

Важным моментом стало применение сонографического метода диагностики для навигации различных малоинвазивных процедур таких как: пункция, дренирование, биопсия при различных заболеваниях и поражениях ОДА [93]. Авторы продемонстрировали высокую безопасность, точность и информативность вмешательств под сонографическим контролем в режиме реального времени. Совершенствование диагностических УЗ аппаратов неизменно привело к

расширению спектра применения сонографии в ортопедии и травматологии [151].

В последние десятилетия эхография, как диагностическое средство визуализации переломов различных сегментов, а также как навигационный метод при закрытых и открытых вмешательствах на костно-мышечной системе, стала эффективно конкурировать с рентгенологическими методами исследования [103]. Так, в детской ортопедии сонографический метод исследования получил широкое распространение при повреждениях различных сегментов [83]. Исследователи показали, что сонография локтевого сустава может получить полезные диагностические данные не только при повреждениях мягких тканей, но и при рентген-негативных переломах локтевого сустава [109]. Значительный интерес представляет работа детских травматологов, которые описывают свой значительный опыт в сонографической визуализации надмыщелковых переломов плечевой кости [102]. Данными травматологами успешно были диагностированы все переломы в исследуемой группе детей и диагностические ошибки отсутствовали. При этом следует отметить, что исследователями определялся не только факт нарушения целостности кости, но и ротационные смещения отломков. Похожие наблюдения сообщают и другие исследователи: сонографически установленные диагнозы надмыщелковых переломов плечевой кости полностью коррелировали с данными магнитно-резонансной томографии (МРТ). Также авторы описывают успешно проведенные случаи чрескожной фиксации спицами надмыщелков плечевой кости [102].

Большой интерес представляет исследование данного вопроса американскими учеными ввиду того, что обследована значительная группа пациентов (212 человек возрастом менее 25 лет, 348 костей), оценка происходила с помощью УЗ метода переломов различных локализаций, и в-третьих, что важно, авторы определяли чувствительность

и специфичность метода при переломах различной локализации. Обследование проводилось «у постели больного», на месте оказания неотложной медицинской помощи, результаты соотносились с рентгенографической визуализацией и КТ. Несмотря на то, что у авторов встречались диагностические ошибки (43 случая с ложноположительными и ложноотрицательными результатами сонографии), исследователи отметили высокую специфичность (средний показатель 73%) и чувствительность (средний показатель 92%) сонографического метода исследования, продемонстрировали, что врач у постели больного может за 4 минуты (в среднем) идентифицировать перелом различных сегментов с высокой достоверностью, и что сонографическое исследование является альтернативой рентгенологическим методам визуализации [182].

В 2010 году другой исследовательской группой было проведено исследование с участием 100 пациентов с подозрением на перелом ключицы, всем пациентам проводилась сонографическая диагностика и авторы высоко оценили специфичность (95%) и чувствительность УЗ метода (96%). Рекомендацией авторов является использование УЗ метода исследования для диагностики переломов ключицы у детей как альтернативной методики при отсутствии рентгенологического исследования [192]. Представляет интерес в разделе детской травматологии и исследование, посвященное визуализации переломов области локтевого сустава. В наблюдении принимали участие 143 пациента возрастом менее 21 года, авторы сообщают, что УЗ метод исследования может применяться как альтернативный метод визуализации переломов локтевой области в неотложной детской травматологии [139].

Среди работ ученых стран СНГ, особо следует выделить работы Российского научного центра «Восстановительной травматологии и ортопедии им. академика Г. А. Илизарова» [154]. В работах курганских ученых основное внимание обращено к сонографическому исследованию

костного регенерата при замещении дефектов трубчатых костей по методу Илизарова, а также эхографической оценке репаративного остеогенеза. Так исследователями данного научного центра были проведены рентген-сонографические исследования дистракционного остеогенеза у пациентов с врожденной костной патологией и с посттравматическими дефектами костей сегментов конечностей, и соответственно пациенты были разделены на две группы. В обеих группах проводилась многоуровневая остеотомия, у всех пациентов имелось два регенерата. Ультразвуковое исследование зон остеотомии проводилось один раз в 14 дней, затем один раз в 30 дней до формирования кортикальной пластинки. Всем пациентам осуществлялся рентгенологический контроль. Авторы пришли к выводу, что динамическое комплексное рентгено-сонографическое исследование процесса остеорепарации при замещении дефектов длинных костей является оптимальным методом мониторинга, позволяющим своевременно вносить коррективы в процесс чрескостного остеосинтеза. При сонографическом исследовании наиболее информативен этап перемещения фрагментов, когда оптическая визуализация рентгенограмм на ранних сроках дистракции не всегда дает достоверную информацию об активности дистракционного остеосинтеза и ограничена стандартными сроками выполнения процедуры. При этом, динамический рентген-сонографический контроль в анализируемой группе пациентов позволяет прогнозировать дистракционный остеогенез и вносить коррективы в лечение: при снижении его активности своевременно снижать темп или прекращать дистракцию, использовать технологии стимулирующие костеобразование и позволяющие продолжать замещение дефекта [41]. Другая группа исследователей из Российского научного центра «Восстановительной травматологии и ортопедии им. академика Г. А. Илизарова», провели оценку состояния костного регенерата большеберцовой кости с помощью использования УЗ доплерографии.

Авторы делают заключение, что в первые две недели после травмы в костном регенерате происходит образование избыточного капиллярного русла. При этом сосуды, по-видимому, имеют низкое периферическое сопротивление, большую фильтрационную поверхность и в этот период снижаются темпы образования мягкотканного каркаса костного регенерата и ускоряется его минерализация, а скорость кровотока по кожным покровам над местом перелома кости также существенно ускоряется и вполне может служить индикатором интенсивности обменных процессов в зоне сращения. Таким образом, высокочастотная УЗ доплерография позволяет регистрировать состояние микроциркуляции в костном регенерате, которая увеличивается в первые две недели после травмы и нормализуется к концу периода фиксации [75]. Так работа Писарева В. В. в значительной мере дополняет исследование предыдущих авторов в вопросе более глубокой оценки показателей доплеровского исследования кровотока зоны перелома костей голени, фиксированных на костными пластинами [46]. Представляет интерес работа Менщикова Т. И. и Арановича А. М., которая посвящена УЗ изучению контактного регенерата у пациентов с открытыми переломами костей голени. В данном исследовании все пациенты были госпитализированы с диагнозом открытый перелом костей голени – 1-2 типа по Каплану-Марковой. Выделены 2 группы пациентов: 1-я с нормальным процессом консолидации, 2-я с замедленным процессом консолидации. Данное деление основывалось на показателях кровотока в регенерате и его архитектонике. Сравнительный анализ данных сонографии выявил у пациентов первой группы постепенное образование гиперэхогенных структур, соответствующих костным трабекулам, и единичные сосуды артериального и венозного типа, что соответствовало правильному формированию контактного регенерата. У пациентов второй группы визуализировалось повышенное число глыбчатых образований и фрагментов в области проксимального, дистального концов материнской

кости, а также в интермедиарной зоне, отсутствие зонального строения регенерата, наличие «оггибающей» артерии, повторяющей контур проксимального конца и имеющей спектральные и скоростные характеристики, соответствующие кровотоку магистрального типа. Описанные эхо-признаки свидетельствовали о неблагоприятном течении консолидации перелома. При этом авторы делают вывод, что благодаря применению сонографии имеется возможность на любом этапе лечения контролировать процесс остеогенеза, прогнозировать сроки и исход лечения, а при необходимости корректировать лечебный процесс [40].

Следует отметить, что с высокой степенью достоверности (около 90%) используется сонография и в диагностике хронического остеомиелитического поражения [33].

По мере совершенствования малоинвазивных методов в ортопедической хирургии повышаются требования и к способам визуализации – максимальная точность позиционирования в режиме реального времени, а также минимальная лучевая нагрузка. Эти требования привели к появлению концепции, известной в англоязычной литературе как CAOS – Computer Assisted (Aided) Orthopedic Surgery. Суть данной концепции это комбинирование двух лучевых методов визуализации для максимально точной интраоперационной навигации, а именно использование данных полученных предварительно при КТ/МРТ исследованиях, с данными получаемыми рентгеноскопически или с помощью УЗ исследования в режиме реального времени при оперативном вмешательстве. Экспериментальную модель описывает работа Chen T., который смоделировал на фантоме лучевой кости данную методику CAOS под контролем ультразвуковой визуализации. Автор отметил высокую точность в локации анатомических образований – погрешность визуализации менее миллиметра, а также указал на простоту определения маркеров позиций контрольной точки и, конечно же, отсутствие лучевой

нагрузки [124]. В исследовании Barrat D. также применяет экспериментальную модель CAOS с использованием сонографии. Данный автор также отмечает высокую точность методики, благодаря разработанной им системы автокалибровки контрольных точек [85].

Таким образом, можно сделать заключение, что применение ультразвука в травматологии и ортопедии продолжает стремительно развиваться и осваивать новые сферы своего применения. УЗ метод исследования в травматологии и ортопедии из чисто диагностической процедуры вошел еще и как метод предоперационной и интраоперационной навигации при различных вмешательствах на всех сегментах костного скелета. Концепция CAOS под сонографическим контролем имеет высокие шансы на более широкое внедрение в клиническую практику врача травматолога-ортопеда.

1.2. Преимущества использования ультразвука в практике врача травматолога-ортопеда

Несомненно, что на данном этапе в диагностике переломов и контроле их лечения наиболее широко используется рентгенографический метод исследования [110]. Существуют высокоспецифичные методы визуализации, такие как КТ и МРТ. Однако доступность данных методов исследования остается по-прежнему очень низкой, а себестоимость достаточно высокой в сравнении с рентгенографией и УЗ методом исследования [83].

Кроме того, многократные рентгеновские исследования, проводимые как с целью диагностики, так и для контроля за течением процесса консолидации костных отломков, сопровождаются, особенно при сочетанной и политравме, значительной лучевой нагрузкой, что очень важно учитывать для некоторых категорий больных (новорожденные дети, беременные женщины, дети первых месяцев жизни, онкобольные, больные с выраженным состоянием иммунодефицита и др.) [87,139].

В то же время в последнее десятилетие стремительными темпами происходит развитие УЗ диагностики как неинвазивного, простого и относительно дешевого метода, находящего все больше и больше точек приложения в различных областях медицины [110,183]. Возможность получения изображения в реальном масштабе времени, проведения многократных исследований делает получаемую информацию более объективной и достоверной, а использование метода УЗ исследования — наиболее предпочтительным [174,183]. Также следует добавить преимущества УЗ метода исследования в сравнении КТ или МРТ для тех пациентов у которых имеются, какие либо металлические конструкции в теле. Ультрасонография опорно-двигательного аппарата, отстававшая в развитии от сонографии, скажем, внутренних органов, сосудов и т.д., в последнее время получает качественно новое развитие в связи с внедрением способов исследования соединительнотканых структур [161]. Появление УЗ-аппаратов с высоким разрешением серой шкалы, возможностью математической обработки получаемого изображения с построением трехмерных изображений еще более увеличивает потенциал метода [111].

Быстрота исследования, отсутствие необходимости специальной подготовки пациентов делают возможным использование УЗ метода исследования уже в приемном покое, отделениях неотложной хирургии и травматологии [131].

Кроме того, наблюдается общемировая тенденция к освоению навыков УЗИ не только специалистами лучевой диагностики, но и врачами лечебных специальностей (хирургами, травматологами, акушерами-гинекологами, онкологами и др.), что позволяет им более свободно ориентироваться в исследуемой патологии и исключить недопонимание, и, как следствие, диагностические ошибки, неизбежно возникающие при

совместной деятельности различных специалистов [122]. Особое значение имеет возможность интраоперационного использования УЗ навигации.

Благодаря доступности специальных интраоперационных датчиков с возможностью многократной стерилизации, вполне реально вести динамическое УЗ исследование в процессе оперативного вмешательства, не сопровождающегося обширным нарушением кожных покровов, при отсутствии возможности прямого визуального контроля. Потому в рутинной практике применяется интраоперационная рентгенография, обусловленная дополнительной лучевой нагрузкой не только на оперируемого пациента, но и на медицинский персонал и других больных, находящихся в данной операционной и т.д. [97]. Это актуально, например, при операциях монтирования аппаратов внешней фиксации, при закрытой репозиции переломов различной локализации. Необходимо также упомянуть, что при УЗ методе исследования практически не существует технических факторов, ограничивающих визуализацию интересующих структур, поскольку возможность исследования в первую очередь обусловлена лишь возможностью установки датчика над интересующей структурой, а отличная визуализация мягких тканей способствует легкой ориентации в получаемом изображении.

Все это позволяет надеяться на хотя бы частичную замену рентгенологических исследований на сонографические при обсуждаемой патологии и делает весьма актуальным определение возможностей УЗ метода исследования в диагностике переломов костей различной локализации и контроле за процессами их репарации, с выделением показаний к УЗ исследованию при подозрениях на перелом кости. Другой важной проблемой представляется стандартизация оценки и описания УЗ

изображения в связи с большой вероятностью различных ее трактовок разными специалистами.

Следует отметить, что именно УЗ метод исследования имеет важное значение в оценке «гиперемированной» зоны перелома, который обусловлен ревматологической патологией, онкопроцессом или остеомиелитом, а также вызвана чрезмерным напряжением [110].

Однако четко следует понимать, что УЗ метод в диагностике различных травм и патологий ОДА не заменяет рентгенографию или МРТ, а лишь дополняет при следующих показаниях: оценка консолидации костных отломков в динамике, оценка интерпозиции мягких тканей, оценка очаговой аномалии сухожилия/сухожилий, аномалии фокальной связки, накопление жидкости в мягких тканях и полостях суставов, а также подтверждение вероятной доброкачественной кисты, такой как киста Бейкера и ганглий запястья [117].

Активно изучаются специфичность и чувствительность УЗ метода диагностики переломов различной локализации. Так одной из исследовательских групп показано, что высокую чувствительность имеет данный метод исследования в сравнении с эталонным «стандартным» методом только для переломов больших трубчатых костей [140].

Понятно, что кость обладает некоторыми особенностями, которые делают УЗ исследование костей очень привлекательным. Граница между кожей, мягкими тканями и структурой кости имеет четкие отличительные плоскости. Плотная природа кости вызывает отражение УЗ волн, позволяя четко отличать кости от окружающих тканей, создавая гиперэхогенное (яркое) отражение от кортикальной поверхности. Так перелом кости можно визуализировать как разрыв гладкого кортикального контура и развивающуюся гематому, а последующее образование костной мозоли можно наблюдать с ранней стадии, начиная с безэхогенной (темной) тени, похожей на суставной хрящ, которая становится все более гиперэхогенной

при её кальцификации. УЗ метод диагностики является неинвазивным, не использует ионизирующее излучение и осуществляется в режиме реального времени. Использование высокочастотного преобразователя (обычно от 10 МГц до 18 МГц) позволяет исследовать поверхностные кости (например, диафиз большеберцовой кости) с высоким разрешением, но с ограниченной глубиной проникновения. Для костей с большим покрытием мягкими тканями (например, бедренной кости) датчик с более низкой частотой (приблизительно от 5 МГц до 10 МГц) обеспечивает большую глубину проникновения, превышающую 6 см, но качество изображения пропорционально ухудшается [180]. Учитывая трудности глубины из-за акустической тени неповрежденной кости, необходимо несколько проходов к месту перелома с разными «окнами обзора» для датчика, чтобы получить трехмерную оценку морфологии перелома.

Обычные рентгенограммы визуализируют формирование костной мозоли на более поздних стадиях консолидации костных отломков, что ограничивает их точность на ранней стадии диагностики замедленной консолидации. Сообщается, что для появления костной мозоли требуется от шести до восьми недель и часто более десяти недель для того, чтобы мостовидная мозоль стала визуализируемой на рентгенограммах [164]. Кроме того, учитывая 2D-проекционный характер рентгенограмм, чувствительность обнаружения мостовидной костной мозоли может быть достаточно низкой [150,164]. Множественные полипозиционные укладки при рентгенографии помогают объективно обнаружить мостовидную костную мозоль при консолидации костных отломков. Существует система оценки, такая как рентгенографическая шкала сращения в большеберцовой (RUST) [164].

Прогрессивное применение УЗ в практике врача-травматолога - это возможность оценить место перелома для доказательства

наличия/отсутствия перелома, визуализации ранней оценки костной мозоли и соответственно сращения. Мягкую мостовидную мозоль, образовавшуюся на ранних стадиях консолидации перелома, можно достоверно обнаружить при помощи обычного 2D УЗ исследования [150]. При этом 2D УЗ исследование было впервые описано у пациентов, которым было выполнено оперативное пособие по удлинению конечностей с помощью дистракционного остеогенеза. Так было показано, что использование 2D УЗ визуализации превосходит рентгенограммы при наблюдении за качеством мостовидных мозолей, которые стали видны в течение двух недель [150]. Показано, что анэхогенный сигнал визуализировался до того, как он превратился в гиперэхогенную кортикальную кость, которая не позволяла передавать УЗ луч. Это постоянно фиксировалось до появления костной мозоли на простых рентгенограммах, которые не визуализировались раньше, чем через восемь недель [180]. Также это было воспроизведено в аналогичных небольших когортных исследованиях, которые также пришли к выводу, что УЗ может визуализировать предполагаемую скорость удлинения конечностей и выявлять такие осложнения, как кисты или плохое прогрессирование костной мозоли раньше, чем на обычных рентгенограммах [94,102]. Эти спорадические случаи описывают появление раннего каллуса, но не показывают скорость или качество образования костной мозоли, а также то, было ли это прогнозируемо для всех пациентов или нет. В более крупном исследовании пациентов с диафизарными переломами бедренной кости, которым выполнялся метод внешней фиксации, отслеживалась консолидация переломов через регулярные промежутки времени [92]. Авторы установили, что через семь суток после операции в щели перелома можно было увидеть гематому как гипоехогенную область с неровным периметром [141]. Через 10–16 суток была видна плотная темная

безэхогенная тень мягкой костной мозоли. Тогда как на 20-35 сутки тени становились более гиперэхогенными, так происходила их кальцификация.

Через 35 дней при УЗ навигации исследователи наблюдали равномерные акустические тени в области зоны перелома и уже на этом этапе ранняя костная мозоль может быть визуализирована на обычных рентгенограммах. Хотя авторы [141] были первыми, кто подробно описал эти ранние УЗ признаки консолидации переломов, но при этом они не описали подробности наблюдения отдельных пациентов, включенных в их исследование, а также остаются непонятными критерии включения и исключения в данное исследование. Несмотря на достаточное количество пациентов, не было сообщений о каких-либо случаях замедленной консолидации или о ложно-положительных и/или ложно-негативных результатах. Другая группа исследователей расширила УЗ оценку ранней костной мозоли и выявление потенциальных различий при нарушениях консолидации переломов [120]. Они описали типичный внешний вид гематомы начиная с первой недели и увеличивающийся эхогенный вид мягкой костной мозоли, изначально нерегулярной по морфологии, но со временем подвергающейся линейному выравниванию, чтобы соответствовать интактной кортикальной кости. Они были первыми, кто описал несращения переломов плечевой кости, что было подтверждено отсутствием костных мостовидных теней в созревающей мягкой костной мозоли [120]. Кроме того совсем недавно небольшое исследование 28 пациентов детского возраста, консервативно пролеченных по поводу переломов сравнивало рентгенограммы с УЗ оценкой после снятия гипса [165]. Исследователи установили, что оценка формирования костной мозоли и прогноз консолидации были сопоставимы между рентгенограммами и УЗ исследованием. Однако сроки, когда были проведены рентгенограммы и УЗ исследования не были четко описаны, а воспроизводимость результатов УЗ оценки вообще в исследовании

отсутствует [165]. Таким образом многочисленные публикации за последнее десятилетие, описывающие раннее обнаружение костной мозоли при помощи УЗИ до применения рентгенографии, ограничены неполным описанием надежности метода и воспроизводимости результатов [94,120].

1.3. Визуализация нормальной и замедленной консолидации костных отломков

В настоящее время рентгенография остается ведущим методом диагностики переломов костей различной локализации, а также в контроле скорости консолидации линии перелома. Рентгенографический метод исследования является эталонным, хотя недостаточно информативным, так как не позволяет оценить структуру повреждения мягких тканей, процесс формирования первичной (соединительнотканной) рентгеногегативной мозоли, а самое главное, не позволяет оценить состояние кровеносного русла в зоне травматического повреждения и васкуляризацию регенерата, от которого зависит проблема прогнозирования нормального течения репаративного остеогенеза [7].

В большой группе пациентов, у которых были диагностированы переломы костей различной локализации, установлено, что в 10% случаев имелись нарушения консолидации костных отломков [59]. Описано, что комплексное инструментальное обследование с привлечением рентгенографии, компьютерной томографии, ультрасонографии, термографии, сцинтиграфии и полярографии позволяет выявить нарушения консолидации в ранние сроки и осуществить мониторинг консолидации в процессе лечения. Авторы акцентируют внимание на том, что обследование должно быть комплексным [59]. Однако это не всегда возможно в условиях амбулаторного приема, не всегда реализуемо в необходимые сроки в связи с загруженностью той или иной больницы и конечно же избыточно и дорого. Невозможно провести одному и тому же

пациенту приблизительно в одни и те же временные промежутки КТ, УЗ исследование, рентгенографию и сцинтиграфию.

Многими учеными проводилось сравнение сонографической картины нормальной и замедленной консолидации костных отломков [7,59]. Однако до настоящего времени нет четкого единого протокола сонографического исследования, а также не описаны различные временные параметры для визуализации скорости консолидации костных отломков. Так специалистами Курганского травматологического центра была исследована визуализация нормальной и замедленной консолидации переломов костей голени при помощи УЗ метода [40]. Установлено, что у больных с открытым переломом костей голени структура регенерата зависела от тяжести травмы, а при переломах с ограниченными повреждениями мягких и костной ткани в первый месяц лечения контактный регенерат визуализировался в виде диастаза, заполненного мелкими включениями различной эхоплотности. При переломе, осложненном дефектом костной ткани, визуализировался дефект большеберцовой кости. При сканировании в доплеровском режиме вдоль кортикальной пластинки визуализировались единичные мелкие сосуды с низкими значениями периферических индексов [40]. Повышенное количество глыбчатых образований без четкой направленности, сглаженный край контура в зоне регенерата свидетельствовали о течении деструктивного процесса и нарушении процесса консолидации. Наличие артерии, повторяющей сглаженный контур проксимального конца и имеющей спектральные и скоростные характеристики, соответствующие кровотоку магистрального типа, подтверждало нарушенное течение процесса костеобразования. Авторы делают вывод о том, что использование метода УЗ исследования позволило выделить два основных типа (нормальный и замедленный) консолидации открытых переломов костей голени при лечении их методом чрескостного внешнего остеосинтеза, что дало возможность на любом этапе лечения

контролировать процесс остеогенеза, прогнозировать сроки и исход лечения, а при необходимости корректировать лечебный процесс [40].

На основе комплексной сонографии дано описание эхо- и гистографической картины зоны перелома с детальной оценкой конфигурации и стояния костных отломков, степени повреждения окружающих тканей на ранних сроках и в динамике репаративного процесса. Разработана методика эхогистографического контроля состояния костной мозоли при переломах костей. Сформулированы показания к ультразвуковому исследованию зоны перелома кости на различных сроках его течения. Разработаны и внедрены в клинику алгоритмы комплексной сонографии и комплексного лучевого исследования зоны перелома кости [52].

Описано, что консолидированный перелом характеризовался отсутствием межотломковой щели, наличием четкого непрерывного костного соединения не менее чем по трем кортикальным слоям на рентгенограммах в прямой и боковой проекциях. Замедленную консолидацию расценивали как отсутствие сращения хотя бы по одному кортикальному слою через 4 месяца после операции. На формирование ложного сустава указывало отсутствие сращения через 6 месяцев после остеосинтеза перелома и наличие специфических морфологических проявлений — склероза концов отломков. При этом также проводили сравнительное УЗ исследование линии перелома большеберцовой и бедренной костей в продольном и поперечном сечениях по поверхностям, свободным от металлоконструкций вне зоны артефактов. Для преодоления толщины окружающих тканей использовался конвексный датчик (3,5–4,5 МГц). Результаты сканирования предполагали один из четырех вариантов заключения: сформированная костная мозоль, активно формирующаяся мозоль (активная фаза консолидации), отсутствие признаков консолидации

и признаки формирующегося ложного сустава [174]. Измерение костной прочности выполнялось на ультразвуковом остеометре «AchillesExpress» фирмы Lunar (США), предназначенном для исследования пяточной кости (датчик 500 кГц). Оценивался интегральный индекс STI (Stiffness Index) – индекс плотности или жесткости кости. В соответствии с рекомендациями ВОЗ, диагностика нормы, остеопении и остеопороза осуществляется при помощи Т-критерия. Снижение плотности костной ткани на стороне перелома в сочетании с нормальными показателями на здоровой конечности расценивались как проявления локального остеопенического синдрома. Пониженная плотность костной ткани на двух конечностях трактовалась как системный остеопенический синдром [174]. Исследователями показано, что при оценке консолидации рентгенографическим методом нормальная консолидация костных отломков была у 39% обследуемых пациентов, тогда как при проведении УЗ метода оценка нормальной консолидации была у 50% обследованных пациентов. Показатели, отражающие процесс консолидации при использовании данных модальностей, приобретали тенденцию к «выравниванию» через 4 месяца (41,8 и 36,8% соответственно) и практически не отличались (34,1 и 36,3% соответственно) через 6 месяцев ($p=0,02$). Что касается сформированной костной мозоли, то по сравнению с первым периодом наблюдения, когда сращение перелома плечевой кости было установлено в одинаковом количестве случаев при обоих методах, в последующие 4 и 6 месяцев костная мозоль визуализировалась с равной степенью достоверности ($p=0,04$) при рентгенографическом (47,8 и 59,3% соответственно) и эхографическом (51,1 и 63,7% соответственно) исследованиях. Небольшое превалирование больных, имеющих сформированную мозоль по данным эхографии в эти сроки, по сравнению с рентгенографией было обусловлено наличием периостальной мозоли, формирующей акустическую тень, что не позволяло визуализировать линию перелома для оценки состояния эндостальной мозоли [174].

Таким образом метод УЗ визуализации скорости консолидации костных отломков при переломах различной локализации является статистически значимо более информативным и предпочтительным, чем стандартная рентгенография [174]. Однако следует отметить, что до сих пор не существует работ, которые бы отражали взаимосвязь скорости консолидации перелома и уровня маркера ангиогенеза [147].

Интересно, что в настоящее время внедряется использование низкоинтенсивного импульсного УЗ в качестве вспомогательного средства для ускорения заживления переломов при свежих и отсроченных несращенных переломах. Самое раннее опубликованное исследование, показало, что низкоинтенсивный импульсный ультразвук улучшил время клинического и рентгенологического сращения и общую пропорцию, достигнув сращения в течение 150 дней при консервативно пролеченных диафизарных переломах большеберцовой кости [180]. Однако на результаты могло повлиять то, что одна треть когорты была потеряна для последующего наблюдения или исключена из-за отклонений в протоколе. Более поздняя работа, изучающая основной механизм низкоинтенсивного импульсного ультразвука при заживлении переломов, предложила множественные эффекты для различных состояний репарации. Сообщалось, что низкоинтенсивный импульсный ультразвук индуцирует пролиферацию преостеобластоподобных костных клеток [119] и дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток в направлении остеогенеза [180]. Дальнейшие исследования *in vitro* показали, что УЗ стимуляция остеогенеза происходит за счет механотрансдукции остеоцитов и остеобластов [90] через интегрин-сигнальные пути [174] и пьезо-ионные каналы, ведущие к усилению местной острой воспалительной реакции и последующему заживлению перелома.

Однако низкоинтенсивный ультразвук не является эффективной дополнительной терапией при острых переломах и при дистракционном остеогенезе[138]. Тем не менее, УЗ может сыграть определенную роль в лечении нарушений сращения переломов. В более позднем литературном обзоре и мета-анализе с использованием критерия для определения несращения перелома, как отсутствие радиологического сращения, по крайней мере через три месяца после травмы, изучалось влияние низкоинтенсивного импульсного ультразвука на 1441 несращении переломов [180], как альтернатива хирургическому вмешательству по поводу асептических несращений с достижением сращения более 80%. Было обнаружено, что гипертрофические несращения приносят больше пользы, чем биологически неактивные атрофические несращения. Интервал без операции более шести месяцев до лечения УЗ был связан с более благоприятным результатом. Роль низкоинтенсивной импульсной ультразвуковой терапии в лечении острых переломов в настоящее время изучается Национальным институтом здравоохранения и передового опыта в Соединенном Королевстве Великобритании. С дальнейшим пониманием механизма действия УЗ и выбора подходящего случая, роль терапевтического ультразвука в терапии замедленно консолидирующихся переломов еще может возрасти.

Таким образом, ультразвук - это развивающаяся технология лечения переломов с потенциалом как диагностического, так и терапевтического использования. Новые данные показали потенциал ультразвука как действительной альтернативы рентгенограммам в определенных клинических ситуациях и, что, возможно, более важно, способность определять раннее присутствие костной мозоли для прогнозирования отсроченного сращения. Появление 3D-ультразвука может преодолеть предыдущие ограничения 2D-ультразвука, создавая изображения, которые

легче интерпретировать. Роль ультразвука как вспомогательного терапевтического средства в лечении несращений переломов остается неясной и постоянно изучается. Дальнейшее понимание акустических свойств скелетно-мышечных тканей, а также оптимизация акустических параметров необходимы для максимального использования возможностей ультразвука как диагностического, так и терапевтического метода лечения переломов.

1.4. Изучение прогнозирования использования тимидинфосфорилазной активности тромбоцитарного фактора роста (PDGF) как маркера скорости остеорегенерации и влияния применения тромбоцитарно-обогащенной плазмы на репаративные процессы

Костная регенерация – это сложный, хорошо организованный, многоэтапный процесс [67], для интенсификации которого необходима активация ранней фазы ангиогенеза, в том числе за счет активации экспрессии гена фактора роста тромбоцитов – PDGF [68]. В недавних исследованиях было показано, что данный фактор роста совместно с костным морфогенетическим белком 2 типа (BMP-2) участвуют в формировании сосудистых трубочек, в миграции мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток, а также в их последующей дифференцировке в остеобласты, поэтому уровень этих двух цитокинов вполне можно использовать как маркеры остеорепаляции. Однако пока не существует клинических работ, которые бы на разных группах пациентов с нормальной и замедленной консолидацией демонстрировали бы диагностическую ценность как PDGF, так и BMP-2. При этом есть исследования в которых предлагается использовать данные факторы роста с целью стимуляции остеорепаляции и исследователями, изучающими влияние PDGF и BMP-2 рассматриваются различные варианты доставки этих цитокинов в «зону интереса». Например, предлагается использовать

различные липосомы и микросферы для таргетной доставки PDGF и BMP-2 в зону сращения перелома [69]. Однозначно понятно, что можно стимулировать остеорепарацию и хондрорепарацию используя данный фактор роста для этих целей. Идет не только активный поиск способов доставки факторов роста, изучается безопасность их длительного применения и модулируются различные матрицы, на которых возможна фиксация факторов роста с целью их интраоперационного использования [69]. Так корейскими учеными было показана стимуляция остеорегенерации при использовании микросфер с ассиметричными порами в мембранах, которые освобождали факторы роста –PDGF-BB и BMP-2 [70]. Другой исследовательской группой было показано, что использование факторов роста сосудов: PDGF и эндотелиального фактора роста сосудов (VEGF) в комбинации с BMP-2, более эффективно для стимуляции костной регенерации, в сравнении с монотерапией BMP-2 [71]. Хотя раньше считалось, что именно морфогенетические белки являются ключевыми и главными участниками регенерации костной ткани [71]. Таким образом, PDGF используется в практике врача травматолога-ортопеда для стимуляции консолидации костных отломков, при больших дефектах костной ткани и у пациентов пожилого возраста [71]. Однако использование рекомбинантных факторов роста является спорадическим в клинической практике, гораздо проще и безопаснее получить такие факторы из алломатериала.

В современной медицинской практике врача травматолога-ортопеда активно применяется терапия плазмой крови, которая обогащена тромбоцитами (PRP-терапия). При этом именно тромбоциты являются главным источником PDGF и других факторов роста [71]. Существует несколько методик подготовки, обогащенной тромбоцитами плазмы человека. Показано, что при введении обогащенной плазмы в зону костной регенерации, процесс консолидации костных отломков прогрессивно ускоряется [71]. Так авторами показано клинически значимое улучшение

сращения переломов после применения PRP-терапии при повреждениях различной локализации: длинных трубчатых костей, костей лицевого черепа, мелких костей кисти и стоп [71]. Все эти исследования имеют спорадическое применение и пока остаются непонятными критерии включения или критерии исключающие применение PRP-терапии у ортопедо-травматологических пациентов. Также не изучены сроки проведения PRP-терапии, не доказана терапевтическая целевая кратность проведения остеорегенеративных методик, в том числе PRP-терапия, как терапия при которой применяется PDGF.

Достаточно широкое применение имеет PRP-терапия (как источник PDGF), тогда как применение самого фактора (рекомбинантный PDGF) находится на стадии клинических исследований. Однако до настоящего времени мало изучен уровень данного фактора роста у людей с нормальной и замедленной консолидацией костных отломков при переломах различной локализации. Нет работ, которые бы отражали диагностически значимые уровни PDGF в корреляции с ферментативной активностью данного белка при разной скорости костной регенерации. А также не изучен конституциональный уровень экспрессии PDGF для пациентов с нормальной и замедленной консолидацией и не проводилась оценка морфофункциональных характеристик тромбоцитов и ее взаимосвязь с уровнем PDGF/его активностью и скоростью остеорепаляции.

Известно, что PDGF обладает ферментативной – тимидинфосфорилазной активностью (ТФ) [72]. Тимидинфосфорилаза катализирует обратимую реакцию превращения тимидина (нуклеозида) в тимин (азотистое основание). Таким образом данный фермент участвует в реутилизации азотистых оснований и синтезе пиримидиновых нуклеотидов, а именно от скорости синтеза нуклеотидов первично зависит

репарация тканей. Из-за того, что данный фермент вовлечен в нуклеотидный обмен он представляет огромный интерес для онкологов, так как является мишенью для химиотерапевтических средств [73]. Следует отметить, что при изучении ТФ активности PDGF в тканях опухоли, сыворотке крови и форменных элементах установлено, что существует взаимосогласованное изменение ТФ активности, то есть по сывороточному уровню ТФ можно прогнозировать активность данного белка как в тканях, так и в тромбоцитах и других клетках крови [74]. Эти данные имеют важное диагностическое и прогностическое значение при проведении репаративных методик у ортопедо-травматологических пациентов. Так как по активности ТФ PDGF в сыворотке крови у ортопедо-травматологических пациентов можно было бы судить о целесообразности и эффективности проведения PRP-терапии например, при лечении остеодегенеративных патологий. Однако, пока, в доступной литературе нет таких исследований и остается пока не изученным вопрос отличается ли скорость консолидации костных отломков при переломах у пациентов с низкой активностью ТФ-PDGF и с нормальной активностью этого показателя. Также пока остается не известно какие референтные значения активности ТФ-PDGF соответствуют норме и замедленно-консолидирующимся переломам в различные сроки их сращения. Так, нами впервые сделано предположение о том, что именно ферментативная активность данного фактора роста и определяет скорость остеорегенерации и эффективность проводимого лечения. Поэтому нашей задачей было изучение ферментативной активности PDGF при нормальной и замедленной консолидации костных отломков.

Существует множество работ, которые изучают высокую эффективность при проведении PRP-терапии при лечении дегенеративного повреждения крупных суставов конечностей, в том числе и гонартроза [75]. Проведен целый ряд клинических исследований, которые описывают эффективность применения PRP-терапии у ортопедо-травматологических

пациентов [76]. Однако нет каких-либо биохимических маркеров, которые бы подтверждали успех или неуспех от проведенной PRP-терапии при патологиях опорно-двигательного аппарата [77, 78]. Есть сонографические данные, которые отражают развитие разной выраженности реактивного синовита, после проведения PRP-терапии. Авторами проводится анализ ответа на терапию в зависимости от тяжести синовита [77]. В другом исследовании, по поводу лечения артроза, было показано, что согласно визуальной аналоговой шкале (ВАШ), интенсивность боли при остеоартрозе становится минимальна в группе пациентов, которой проводилась именно PRP-терапия [79], при этом уменьшение болевого симптома сохраняется до 12 месяцев и дольше [80]. Несмотря на то, что ряд авторов опровергает вышеизложенное, группой сравнения в этом исследовании были пациенты, которым назначали различные препараты гиалуроновой кислоты. При этом исследователи утверждают, что даже назначение высокомолекулярных форм гиалуроната, не дает столь стойкий результат по сравнению с применением PRP-терапии [80]. Исследователи отмечают, что на PRP-терапию нет аллергических реакций, нет побочных токсических эффектов на печень и почки, нет негативных взаимодействий с другими лекарственными средствами [80]. Кроме этого авторы изучали эффективность применения фото-активированной плазмы, обогащенной тромбоцитами (РА-PRP) при лечении гонартроза [81], что также продемонстрировало положительную роль плазмотерапии в стойком снижении болевого симптома, а также в увеличении объема движений в пораженном суставе/суставах. Из этого исследования [81] остается непонятным меняется ли активность ТФ или нет, и почему фото-активированная плазма имеет такие выгодные эффекты при лечении гонартроза в сравнении с плазмой, которая не была фото-активирована.

Существует множество мнений по поводу механизмов положительного воздействия PRP-терапии на костную и хрящевую ткань

[76]. Так известно, что PRP-терапия влияет на существенное снижение провоспалительных цитокинов в суставе и уменьшение активности ферментов, которые продуцируют провоспалительные факторы. Было показано, что при проведении PRP-терапии снижается продукция: циклооксигеназ (ЦОГ), металлопротеиназ, фактора некроза опухоли- α (ФНО- α), интерлейкина-1 (ИЛ-1), интерферона- γ , селектинов, интегринов. При этом установлены анаболические эффекты данной терапии на синтез протеогликанов и регенерацию хряща в целом [76]. Описано, что при введении в пораженный сустав плазмы, обогащенной тромбоцитами, а значит и богатой PDGF происходит развитие умеренного воспаления, что подтверждается гиперпродукцией провоспалительных молекул – ИЛ-6, ИЛ-8, коллагена I типа и ЦОГ-2. При этом описано, что ИЛ-8 обладает проангиогенными свойствами и является синергистом фактором роста гепатоцитов (HGF) и VEGF, которые в том числе продуцируются сухожильными клетками в ответ на введение PRP [82]. Так на ранних стадиях регенерации, в том числе и остеорегенерации, ангиогенез и воспалительная реакция тесно связаны. Кроме того, установлено, что проведение PRP-терапии эффективно используется и лечении повреждений связок и сухожилий, а также травматических и дегенеративных повреждениях менисков [83]. Авторами отмечается сокращение сроков реабилитации таких пациентов, уменьшение болевого симптома и ускорение регенерации поврежденной зоны [83]. То есть кроме ростовых факторов, которые содержит сама обогащенная плазма, продуцируются и локально факторы роста, которые позитивно влияют на дифференцировку остеобластов.

Важно отметить, что из протокола манипуляции по проведению PRP-терапии известно, что не рекомендовано проводить данное лечение пациентам больным с сахарным диабетом, метаболическим синдромом и больным с подагрой или имеющим гиперурикемию неясного генеза [83]. Однако есть работы, которые неоднозначно относятся к тому, чтобы не

проводить PRP-терапию пациентам с установленной гиперурикемией. Так группой исследователей было показано, что гиперурикемическая PRP-терапия может оказывать положительное влияние на состояние сухожилий. Они это объясняют повышением синтеза коллагена I-го типа, который является доминантным для сухожилий, связок и костей. Однако при этом у пациентов, которые получали гиперурикемическую PRP-терапию одновременно снижалась продукция провоспалительных цитокинов – ИЛ-6 и ИЛ-8 [84]. Интересно, что гиперурикемическая плазма внутрисуставно значительно уменьшает синтез ИЛ-8. Авторам остается, не понятно является ли снижение ИЛ-8 в контексте гиперурикемии релевантным последствием, вызванными снижением инфильтрации нейтрофилами и уменьшением ангиогенеза.

Таким образом, остается не изученным от чего зависит уровень PDGF, связано ли это с возрастом пациента, количеством тромбоцитов и их морфофункциональных характеристик и стоит ли отказываться от коррекции консолидации костных отломком с помощью PRP-терапии у пожилых пациентов, у пациентов с тромбоцитопенией, гиперурикемией, гипокальциемией и сращением костных фрагментов.

РАЗДЕЛ 2. РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУБЛИКАЦИОННОЙ НАУЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ОРТОПЕДО-ТРАВМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ СОНОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основополагающей целью лечения переломов сегментов конечностей является формирование оптимальной физиологической функции, то есть восстановление объема движений и способности нести весовую нагрузку.

Также целью лечения повреждений опорно-двигательного аппарата должно быть обозначено и предотвращение ранних нарушений, таких как нейродистрофический процесс по типу атрофии Зудека и поздних последствий, таких как посттравматический артроз.

Исторически сложилось, что для достижения успешных результатов лечения оптимальными для диагностики восстановительного лечения являются рентгенологические методы исследования. Они играют ведущую роль в диагностических методах обследования в травматологии и ортопедии, оценке васкуляризации при консолидации костной ткани, оценке изучения динамики изменений в мягких тканях при патологических процессах в крупных суставах конечностей.

Общепринятое мнение, что оценка точности клинического исследования основана на сравнении его результата с результатом некоторого точного способа постановки диагноза, то есть с показателем, заслуживающим полного доверия – так называемым «золотым стандартом» - референтным или эталонным методом. В действительности

«золотой стандарт» также нельзя считать абсолютным эталоном, так как существуют полипозиционные, специфические для каждого вида перелома рентгенологические укладки, не исключается «субъективный фактор» при проявлении пленок и формирования возможной экспозиции исследования.

В данной главе диссертационного исследования мы выдвигаем гипотезу о допустимой диагностической точности сонографического метода исследования при диагностике переломов различной локализации у взрослых пациентов по сравнению с современным «золотым» эталонным стандартом диагностики (например, рентгенография, КТ или МРТ), приводим статистически обоснованное исследование ранжирования применения сонографического метода визуализации исследования относительно локализации проблемы в структуре скелета человека. А также применение термина «золотой стандарт» к сонографическому методу медицинской визуализации относительно диагностики травматического и патологического разрушения мягкотканых структур, которые являются одной из причин формирования дегенеративно-дистрофических изменений в крупных суставах конечностей, на основе исследования публикационной научной активности.

Многими специалистами сонографический метод считается не приемлемым для исследования костной патологии в связи с физической особенностью последней экранировать поток ультразвуковых волн. В связи с чем ультразвук остался основным методом исследования других систем организма человека в частности сосудов и органов брюшной полости. Однако возможность изменения положения датчика относительно зоны исследования и улучшенные возможности визуализации в «серой шкале» позволяют рекомендовать этот метод как основной при диагностике повреждений и патологий костной ткани.

Скрининг приемлемых исследований проводился на основе заранее определенного набора критериев включения и исключения в данное эпидемиологическое исследование (Таблица 2.1).

**Таблица 2.1. Критерии включения и исключения в
эпидемиологическое исследование**

Критерий	Включение	Исключение
Тип исследования	Проспективное обсервационное исследование; Ретроспективное обсервационное исследование; Рандомизированное контролируемое исследование; Полный текст; Публикация в рецензируемом журнале	Выбранная серия кейсов; Неклиническое исследование; Обзор литературы; Полный текст не доступен после запроса;
Участники	Человек; Взрослые люди; Клиническая обстановка;	Смоделированные пациенты; Имитация переломов; Исключительно педиатрические пациенты; Смешанные

		педиатрические и взрослые пациенты (где педиатрические и взрослые группы невозможно идентифицировать отдельно)
Установка	Отделение неотложной помощи; Больничная койка; Догоспитальная установка;	Отсутствие критериев исключения
Процедура	Диагностическое ультразвуковое исследование; Диагностический рентген, компьютерная томография или МРТ; При клиническом подозрении на перелом верхней или нижней конечности	Терапевтическое ультразвуковое исследование
Цели/результаты	Идентификация перелома; Диагностика переломов; Ведение пациентов; Перспективы использования	Лечение переломов; Оценка плотности костной ткани

Для оценки диагностической точности сонографического исследования требовалось, чтобы выборка участников была последовательной и случайной. Следовательно, все статьи были проверены на методологию, чтобы включить только наблюдательные исследования или рандомизированные контролируемые исследования, проведенные с соответствующей слепой интерпретацией диагностической визуализации.

Требования к публикации были следующие: полнотекстовая статья в рецензируемом журнале, любого года издания. Поскольку основное внимание в настоящем статистическом исследовании уделяется сонографическому исследованию как методу визуализации для диагностических целей. Исследования, в которых использовались терапевтические ультразвуковые сканеры, нами были исключены.

Стратегия поиска в базе данных. Мы провели поиск всех соответствующих статей благодаря пакету программы End Note (Clarivate Analytics) 03 января 2021 года используя специфичную для базы данных стратегию поиска. Стратегия поиска включала в себя определенную комбинацию ключей поиска (key search) (Таблица 2.2).

Первоначальный поиск литературы дал 2601 источник. Этот поиск проводился с использованием библиографических ссылок из включенных статей, полученных в ходе первоначального поиска на платформе PubMed, а также поиска в базах данных Google Scholar и Research Gate. Для каждого источника нами были получены полнотекстовые статьи.

Таблица 2.2. Ключи поиска для проведения статистического исследования

Key search (ключ поиска)	Concept 1 ultrasound	Concept 2 x-ray	Concept 3 ct scan	Concept 4 fracture
	1.Sonograph 2.Ultrasonography 3.Ultraso	1.X-Rays 2.Radiography 3.Radiograph	1.Computed tomography 2.CT 3.CT scan 4. Tomography, X-ray Computed	1.Fractures, Bone 2.Fractur

Выбор исследования. Исследования, которые были получены в результате первоначального поиска в базе данных с названиями, признанными релевантными, были скомпилированы и централизованно управлялись в Refworks, после чего дублирующие исследования были удалены. Первоначальный отбор названий статей проводился в ходе поиска по базе данных. Мы выявили 139 потенциально релевантных исследований. Исключение работ из данного исследования проводили из-за разных возрастных групп. Таким образом, для данного исследования были использованы 26 полнотекстовых статей.

Оценка риска предвзятости. Отобранные нами статьи прошли оценку риска предвзятости с использованием контрольного списка диагностических тестов программы критической оценки результатов.

Данный контрольный список направлен на установление методологического качества исследований, отвечает на вопросы, касающиеся валидности исследования, диагностической точности каждого этапа вмешательства и обобщаемости результатов исследования. Качество протоколов исследований было дополнительно проанализировано в соответствии с принципами Кохрейновского руководства по критической оценке диагностических исследований.

Синтез и анализ данных. Полученные нами данные были собраны и подвергнуты как описательному, так и количественному анализу. Поскольку в исследованиях использовались различные показатели для определения диагностической точности, имеющиеся данные записывались в функцию «калькулятор» программного обеспечения Review Manager (RevMan) для получения аналогичной сводной статистики по всем отобранным статьям. Это позволило объединить данные и сравнить результаты различных авторов статей с использованием показателей чувствительности и специфичности диагностических тестов. Программное обеспечение Meta-DiSc было использовано для проведения мета-анализа данных, и была применена модель случайных эффектов из-за ожидаемой нами гетерогенности между группами исследованиями, в отобранных нами статьях. Гетерогенность оценивали с использованием версии программы статистики (STATISTICA 12.0, Stat.Soft), которая описывает процент вариабельности, обусловленной непосредственно гетерогенностью, причем $> 50\%$ представляет умеренную гетерогенность и $> 75\%$ указывает на высокую гетерогенность. Анализ чувствительности проводился путем удаления одного исследования за один раз из объединенного анализа, чтобы определить, не могли ли результаты быть чрезмерно подвержены влиянию одного исследования.

Описание исследования. В общей сложности 4851 соответствующая статья была идентифицирована на PubMed платформе

через соответствующий ключ поиска по названию или абстракту через пакет программы EndNote (Clarivate Analytics). Исключение работ, связанных с исследованиями, не связанными с людьми, сократило выход до 1720 статей. В рамках данного статистического исследования было рассмотрено в общей сложности 52 полнотекстовые статьи, 26 из которых были включены в настоящий обзор и качественный и количественный синтез результатов. Все включенные в данное исследование статьи, содержали проспективные и наблюдательные исследования. Контрольным эталонным стандартным методом была в основном рентгенография и КТ исследования [85-86], а также использовались МРТ методы [85, 87]. В части исследований авторы, учитывая неэффективность обычной рентгенографии и точечной сонографии, оценку делали по результатам, полученным при КТ исследовании [88-90]. Неэффективность рентгенологических методов исследования была связана с ошибками локализации повреждений, неправильно выбранной проекции снимков и не достаточным по объему сонографическим исследованием.

Локализация переломов широко варьировала во всех включенных нами исследованиях. Переломы костей кисти были наиболее часто исследуемым местом травмы, причем большая часть исследований была сосредоточена на пястных и / или фаланговых переломах [90-93], и три из них касаются переломов ладьевидной кости [94-96]. Другие специфические места травм включали переломы стопы и лодыжки [97-101], в том числе и травмы Хилл-Сакса [102;103]. Остальные восемь исследований были сосредоточены на гетерогенной смеси переломов верхних и нижних конечностей [104], включающей лучевую и/или локтевую кости [105], плечевую кость и/или бедренную кость [106], бедро [105] и надколенник [107].

Первичный результат, представляющий интерес – это диагностическая точность сонографического исследования по сравнению с

визуализацией «золотого» стандарта, оценивалась с помощью показателей чувствительности и положительных/ отрицательных прогностических значений. Ряд исследований спрогнозировали использование ультразвукографии как метода визуализации первой линии, оценив нагрузку рентгеновских лучей, которую можно было бы избежать в исследуемой группе пациентов [108]. Ни одно исследование не сравнивало между собой время постановки диагноза (сонографическое сканирование и визуализация золотого стандарта), однако в одно исследование отмечало высокие показатели диагностической ценности при исследовании удовлетворенности пациентов поставленным диагнозом [97].

Выбор группы пациентов в изученных исследованиях, оценивающих диагностическую точность тестов, смещение отбора может иметь место, тогда когда метод выборки участников позволяет исследователям выбирать отдельных пациентов для включения последних в исследование. Это может быть предотвращено путем разработки протокола, который регистрирует всех последовательных пациентов с клиническими подозрениями на наличие желаемого состояния в течение определенного периода времени или рандомизированной выборки этих пациентов.

Индексный тест, используемый для диагностики переломов, был основным критерием включения в настоящее исследование. Во всех работах использовалась сонография, при этом наиболее распространенным было точечное УЗ сканирование (фокус), и только в двух исследованиях [109-110] использовалась альтернатива - ультразвуковое исследование с высоким пространственным разрешением. Потенциальные источники материалов отклонения, вносимые индексным тестом, включают в себя отсутствие слепого исследования, неопределенные диагностические критерии и вариабельность выполнения или интерпретации теста (Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN)).

Methodology Checklist 5: Studies of Diagnostic Accuracy. 2006; Available at: <http://www.sign.ac.uk/checklists-and-notes.html>. Accessed 27 Sept 2017). Все включенные статьи для исследования имели адекватный индексный тест (то есть индексный тест проводился либо до эталонного стандарта, либо отдельным исследователем, который не владел результатами эталонного стандарта).

Авторы исследований, описанных статей, заранее определили сонографические признаки, необходимые для постановки диагноза - перелом кости, чтобы установить диагностический порог в методологии. Также исследователи определяли тип УЗ аппарата и частоту используемого зонда, изображенные плоскости и протокол обследования, так как любая вариабельность в выполнении УЗ исследований, как внутри, так и между исследованиями, может привести к смещению интерпретации результатов и оценок диагностической точности.

Эталонный стандарт. Одной из важных причин девиации результатов в настоящем исследовании являлась вариабельность точности эталонного стандарта для диагностики переломов костей при различных способах исследования. Имеющаяся на данном этапе методология утверждает, что точность диагностических тестов эталонного стандарта имеет чувствительность 100% для исследуемого состояния.

Стандартная рентгенография была использована в качестве эталона и имеет высокую чувствительность для диагностики переломов верхних конечностей [89, 92-93, 111], надколенника [107] и нижних конечностей [97, 101, 10, 112]. Рентгенологическое исследование использовалось как эталон для переломов бедра, так как обладает высокой диагностической точностью [105]. И наоборот, МРТ исследование использовалось для обнаружения поражений по типу Hill-Saks (от 74 до 93% с использованием метода Stryker notch view) [103] и переломов ладьевидной

кости, которые часто рентгенологически не обнаруживаются во время травмы [110]. Для уменьшения диагностических ошибок исследователи предлагали использовать в своих методологиях более чувствительные тесты, такие как двухконтрастные КТ [102] и МРТ [105].

Переломы верхних конечностей. В эту группу исследования [91] были включены 700 пациентов с 300 переломами, распространенность локализации переломов варьировалась от 14 до 71 %. В трех исследованиях типы переломов были классифицировали по локализации конкретно поврежденных костей, а именно дистальной лучевой кости, плечевой кости и лучевой/локтевой кости [113-114]. Общая чувствительность УЗИ при выявлении переломов верхних конечностей колебалась от 43 до 100 %, причем в пяти из семи исследований показатели достигали более 90 %. Установленная специфичность была от 83 до 100 %, при этом в пяти из семи исследований она составляла до 90 %. Самая низкая чувствительность 42 % была установлена исследователями для выявления переломов костей запястья [92], кроме того другая группа исследователей также сообщает о низкой чувствительности сонографии при верификации переломов верхних конечностей [115]. В трех работах были описана отрицательная прогностическая значимость (ОПЗ) и положительная прогностическая значимость (ППЗ) для УЗИ, которые варьировались от 73 до 93 % и от 57 до 93% соответственно. Следует отметить, что как самые высокие ППЗ были обнаружены для дистальных переломов предплечья, тогда как самые низкие ППЗ были зарегистрированы при переломах костей запястья [92].

В шести исследованиях нами изучались переломы костей кисти, следующей локализации - перелом фаланг (2) [111, 116], переломы пястных костей - (2) [117], на комбинацию вышеуказанных переломов-(2) [92, 118]. В совокупности данные исследования включали в себя 700

пациентов. При использовании сонографических методов диагностировали 190 переломов в костей кисти, при этом вариабельность перелома колебалась от 30 до 47 %. Установлено, что ультразвуковой метод при данном исследовании чувствителен от 73 до 100 %, а специфичен от 78 до 98 %. Чувствительность УЗИ при диагностике переломов пястной кости [91-92] колебалась от 73 до 97 %, причем в двух из трех исследований этот показатель достигал более 90 %. Специфичность варьировала от 78 до 98 %, причем в двух из трех исследований показатели достигли более 90%. При этом ОПЗ данной локализации переломов была от 70 до 97 %, а ППЗ от 80 до 97,5 %. При выявлении переломов фаланг точность [92,119] сопоставима с чувствительностью от 79 до 100 % и специфичностью от 90 до 98 %. Одно из трех исследований достигло чувствительности более 90 % [120], тогда как все три исследования дали показатели специфичности выше 90 %. В исследованиях, изучавших переломы фаланг, сообщалось об ОПЗ и ППЗ УЗИ для выявления переломов [121], причем частота их варьировала от 92,7 до 93,1 % и от 72 до 79 % соответственно.

Проводились исследования [93], которые объединяли результаты переломов пястной и фаланговых костей. Так в этих исследованиях была установлена чувствительность 90 % и специфичность 98 % УЗ метода исследования переломов. Исследователи также зафиксировали данные, касающиеся скорости УЗИ, которая была оценена как быстрая (< 5 мин) 73 % врачей. Визуализация по эталонному стандарту (КТ или МРТ) диагностировала перелом ладьевидной кости у 27 пациентов, а распространенность переломов варьировала от 21 до 60 % [110]. Специфичность исследования была ниже в целом, с частотой от 71 до 100%, и только в одном исследовании сообщалось о специфичности выше 90%. Все три исследования также показали ОПЗ и ППЗ для этого диагностического теста, которые варьировались от 75 до 100% и от 46 до 100% соответственно. В одном из исследований регистрируют

сонографические данные места перелома в диапазоне клинических подозрений (высокий, средний и низкий), основанный на количестве критериев визуализации, выявленных при УЗИ [95]. Интересно, что в одном из исследований было зарегистрировано чрезмерное количество переломов ладьевидной кости с семью ложноположительными результатами (высокий индекс подозрительности), в то время как в двух других исследованиях не было зарегистрировано ни одного ложноположительного результата. Низкие ППЗ ставят под сомнение целесообразность при визуализации переломов ладьевидной кости.

Переломы нижних конечностей. В шести исследованиях, которые были посвящены изучению переломов нижних конечностей приняли участие 450 пациентов. В данную группу наблюдения были включены пациенты с переломами бедренной кости [122-123] и переломами надколенника [107]. Локализация распространенности переломов варьировала от 5,3 до 75,0 %, а общая чувствительность и специфичность УЗИ при диагностике переломов варьировали от 75 до 100 % и от 65 до 100 % соответственно. Четыре из шести исследований достигли чувствительности более 90 %, а два из шести сообщили о специфичности выше 90 %. ОПЗ и ППЗ были зарегистрированы в четырех исследованиях, и показатели варьировались от 80 до 100 % и от 59 до 93,8% соответственно. При исследовании переломов бедра было установлено, что УЗ метод диагностики переломов данной локализации имеет очень высокую чувствительность (100 %), но при этом низкую специфичность (65 %) [105]. Напротив, в исследованиях другой исследовательской группы сообщается, что УЗИ обладает хорошей диагностической точностью при диагностике переломов надколенника, с чувствительностью 93 % и специфичностью 95 % [107].

Переломы костей стопы и голеностопного сустава. В проанализированных нами исследованиях, переломы костей стопы и

лодыжки [93, 97, 101, 108], а также переломы плюсневой кости [124] были диагностированы у 675 больных, диагностировано 190 переломов, распространенность локализации переломов варьировала от 15,3 до 42 %. При диагностике переломов костей стопы и/или голеностопного сустава чувствительность УЗИ метода составила от 87 до 100 %, а специфичность - от 86 до 100 %, при этом 75 % наблюдений достигали чувствительности в 90 %, а 40 % исследователей сообщили о специфичности метода свыше 90 %. ОПЗ и ППЗ для УЗИ были зарегистрированы в двух из четырех исследований и равномерно составили более 90 % (ОПЗ составлял 100 % для обоих исследований, а ППЗ колебался от 95,2 до 100 %). Кроме всего прочего для переломов костей данной локализации имеются сообщения о том, что УЗИ метод хорошо переносился всеми больными [112]. В других исследованиях сообщается, что 95 % всех пациентов, набранных в рамках исследования, предпочли бы, чтобы новая травма была диагностирована с помощью УЗИ метода, и только 3,3 % пациентов не имели заявленных предпочтений [13]. При исследовании переломов пятой плюсневой кости чувствительность УЗИ метода составляла 97,1 %, а специфичность была 100 %. Так данной исследовательской группой было диагностировано 33 перелома костей с помощью УЗИ метода и только один результат УЗИ исследования был ложноотрицательный [124]. В противопоставление вышесказанному, другое исследование применения УЗИ метода для диагностики переломов плюсневых костей продемонстрировало низкую чувствительность (83 %) и низкую специфичность (76 %). При этом одиннадцать из тринадцати переломов плюсневых костей были обнаружены с 2 ложноотрицательными и 7 ложноположительными результатами, ОПЗ - 91,7 % и ППЗ - 58,8 %.

При исследовании переломов кости бедра УЗ метод диагностики переломов данной локализации имеет очень высокую чувствительность и специфичностью. При оценке переломов костей стопы и лодыжки мы

также установили суммарную высокую описательную чувствительность и специфичность, тогда как сонографическая оценка состояния плюсневых костей и конкретно пятой плюсневой кости имела высокие показатели ложноположительных и ложноотрицательных результатов.

Таким образом, нами установлено, что сонографический метод диагностики переломов костей плеча, предплечья и бедра имеет высокую чувствительность и специфичность в сравнении с эталонными методами диагностики переломов и может быть использован в практике врача травматолога-ортопеда. Самые высокие ППЗ были обнаружены для дистальных переломов предплечья, а самые низкие ППЗ были зарегистрированы при диагностике переломов костей запястья. Самая низкая чувствительность (42%) УЗ метода диагностики переломов была установлена исследователями для выявления переломов костей запястья. В связи с чем установленные низкие ППЗ ставят под сомнение целесообразность использования сонографического метода при визуализации костей запястья и конкретно ладьевидной кости.

РАЗДЕЛ 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Материал исследования

Работа выполнена на кафедре травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных ситуаций (заведующий кафедрой – д.м.н., профессор Лобанов Г.В.) на клинической базе Республиканского травматологического центра г. Донецка Министерства здравоохранения Донецкой Народной Республики. С целью решения поставленных задач была набрана группа пациентов в количестве 102 человек, в возрасте от 18 до 70 лет (мужчин было 88(86,2%), женщин-14(13,8%), которые были госпитализированы с переломами костей различной локализации, в последующем с диагностированной нормальной и замедленной консолидацией (Таблица 3.1.) с 2010 года по 2021 год. Критерием исключения из исследуемых групп являлось наличие комбинированных и сочетанных травм у пациентов, а также острые или хронические сопутствующие соматические заболевания.

Таблица 3.1. Распределение пациентов по полу и возрасту

Пол	Возраст, лет							всего
	До 20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	Старше 70	
Мужской	7	15	24	30	10	2	-	88
Женский	-	5	3	2	2	-	2	14
Всего	7	20	27	32	12	2	2	102

Из данных Таблицы 3.1. усматривается, что среди обследованных больных преобладали молодые мужчины в возрасте 45 лет.

В результате комплексного обследования диагностировано 206 переломов костей различной локализации. (Таблица 3.2).

Таблица 3.2. Распределение диагностированных переломов костей по локализации

Локализация перелома	Количество переломов
Повреждения таза	66
Повреждения ребер	3
Повреждения предплечья	15
Повреждения кисти	8
Повреждения надплечья	2
Повреждения позвоночника	4
Повреждения бедра	10
Повреждения голени	68
Повреждения плеча	13
Повреждения черепа	1
Повреждения стопы	16
ИТОГО	206

62 пациентам (60,7%) из общего числа выполнены оперативные вмешательства (различные виды остеосинтеза), в том числе и под контролем сонографии, в плановом и ургентном порядке (Таблица 3.3.).

Таблица 3.3. Распределение больных по виду оперативного лечения

Вид остеосинтеза	Количество больных
накостный	2
интрамедуллярный	3
Внешняя фиксация	53
Закрытое вправление	4
ИТОГО	62

3.2. Дизайн исследования

Диссертационное исследование проводилось в 5 этапов.

На первом этапе нами было проведено ретроспективное исследование публикационной научной активности применения сонографического метода в ортопедо-травматологической практике, путем применения пакета программы End Note (Clarivate Analytics) используя специальные для базы данных стратегии поиска. Требования к публикации были следующие: полнотекстовая статья в рецензируемом журнале, любого года издания. Поскольку основное внимание в настоящем статистическом исследовании уделяется сонографическому исследованию как методу визуализации для диагностических целей. Исследования, в которых использовались терапевтические ультразвуковые сканеры, нами были исключены.

На втором этапе для оценки информационно-диагностической ценности сонографического метода нами был проведен сравнительный анализ 2 групп пациентов, сформированных из 102 человек, поступивших на лечение в клиники Республиканского травматологического центра Донецкой Народной Республики за период с 2010 года по 2021 год. Критерием исключения из исследуемых групп являлось наличие комбинированных и сочетанных травм у пациентов, а также острые или хронические сопутствующие соматические заболевания.

1 группа – 53 (52%) пациента, которым для верификации диагноза при поступлении выполнялись рентгенологические и сонографические исследования;

2 группа – 49 (48%) пациентов, которым при поступлении было выполнено только рентгенологическое исследование.

Всем пациентам был поставлен первичный диагноз – повреждение сегментов опорно-двигательного аппарата.

Учитывая предложенные критерии информативности, мы разработали алгоритм использования сонографического метода для диагностики и лечения повреждений ОДА на различных этапах оказания ортопедотравматологической помощи.

На третьем этапе интраоперационно выполнялась навигация фрагментов поврежденной кости у 1-ой группы пациентов 53 человека (52%) под контролем ультразвукового метода исследования, у 2-ой группы пациентов, которая составляла 49 человек (48%) – под мануальным и рентгенологическим контролем. У всех пациентов добились сопоставления костных отломков в месте перелома с дальнейшим устранением угловых смещений. Динамический сонографический контроль репозиции позволил исключить интерпозицию окружающих тканей между костными отломками.

На четвертом этапе был проведен сравнительный анализ рентгенографических и сонографических исследований при оценке остеорепарации у пациентов обеих групп наблюдения. Исследования выполнялись при поступлении травматологическое в отделение и в процессе стационарного лечения. Смещение костных отломков оценивали в сагиттальной и фронтальной плоскостях. Исследование качественных и количественных характеристиках поврежденных и неповрежденных тканей, структура и состояние которых имеют значение для адекватной репозиции и оценки восстановления угловых взаимоотношений в сегментах опорно-двигательного аппарата.

На пятом этапе для доказательства ценности сонографического метода при применении биохимического маркера ангиогенеза для оценки костной репарации в послеоперационном периоде, из 1 группы пациентов 53 человека (52%) была выделена группа в количестве 39 человек (73%) у которых диагностирована измененная консолидация, которая в свою очередь была разделена на основную – 20 (51%) человек и контрольную группы – 19 (49%) человек. Пациенты, как в первой, так и во второй группе

были мужского пола, возраст составил от 26 до 43 лет. Пациентам выполняли забор по 10 мл периферической венозной крови в первую неделю после репозиции костных отломков, а также через 1, 3, 6 месяцев после операции. Критерием исключения из исследуемых групп являлось наличие комбинированных и сочетанных травм у пациентов, а также острые или хронические сопутствующие соматические заболевания, что соответственно могло привести к метаболическим изменениям пуринового обмена и затруднить оценку биохимического маркера консолидации.

3.3.Методы исследований. Клиническое исследование включало в себя изучение жалоб, анамнеза, объективное обследование общего и локального статуса. Клиническая картина зависела от локализации и вида повреждений, времени, прошедшего от момента получения травмы до обращения за медицинской помощью. Учитывался механизм травмы, определялась локализация патологических изменений, выраженность и динамика болевого синдрома в процессе обследования и/или лечения. При исследовании ортопедического статуса оценивалась походка, поза, определялась локальная гипертермия и болезненность в области поврежденных тканей, амплитуда пассивных и активных движений в смежных суставах, проводились специальные клинические функциональные нагрузочные тесты для выявления повреждений тканей, окружающих кость, связок, а также нестабильности и функциональной недостаточности в смежных суставах. Клинические исследования проводились с учетом требований Положения «Об юридических и этических принципах медико-биологических исследований у человека». При поступлении все пациенты были обследованы согласно протокола, принятого в клинике (полное физическое, клиническое и лабораторно-инструментальное исследование). С целью диагностики перелома кости использовали традиционную рентгенографию и комплексное

ультразвуковое исследование. Окончательный диагноз формулировали на основании полученных данных обоих методов.

3.3.1. Рентгенография

Рентгенографические исследования проводили с использованием рентгеновского аппарата типа Арман 9Л5. Использовали стандартные методики рентгенографии. При рентгенографии в прямой проекции пациент располагался на спине с вытянутыми ногами, сагиттальная плоскость стоп была расположена перпендикулярно к плоскости стола. Для рентгенографии в боковой проекции пациент располагался лежа на боку, при этом исследуемая конечность была слегка согнута и наружной поверхностью прилежала к плоскости стола. Противоположная конечность согнута в коленном и тазобедренном суставах и приведена к животу, либо разогнута и отведена кзади. При выполнении аксиального снимка пациент лежит на животе, кассета уложена на стол под максимально согнутое колено. При исследовании таза применяли полипозиционные укладки, для диафизов крупных трубчатых костей использовали прямую и боковую проекцию, при необходимости прицельные снимки области перелома, снимки в полуаксиальной и аксиальной проекциях.

3.3.2. Ультразвуковое исследование

Сонографические исследования проводили с использованием ультразвуковых сканеров с линейными (7-12 мГц) и конвексными мультимодальными (2,5-6 мГц) датчиками (Toshiba Nemio, Mindray A5, Sonoscape S6). Предварительной подготовки больного не было. Положение пациента зависело от его общего соматического состояния и соответственно локализации перелома. Первичное ультразвуковое исследование выполняли при поступлении пациента.

Соблюдались основные принципы УЗ визуализации:

- системности, стандартизации доступов визуализации (исследования в определенной последовательности стандартных сканов-срезов);

- технологичности и методологии (исходя из принципов полипроеctionности, полипозиционности расположения ультразвукового доступа, параллельности и перпендикулярности расположения датчика к исследуемому органу, области, зоне интереса);
- симметричности (обязательного сопоставления ультразвуковой картины с аналогичными отделами, структурами контралатерального сустава);
- функциональности (необходимости и обязательности проведения некоторых функциональных проб);
- динамического наблюдения - сопоставления, анализе структурных изменений составляющих сустава в динамике (в острый период при повреждении сустава, гемартрозе, обострении синовита визуализации мешают отек мягких тканей, болевой синдром, вынужденное положение конечности).

Так исследование в режиме "серой шкалы" костей грудной клетки и плечевого пояса было удобнее проводить при положении пациента на спине или на боку. Иногда возникала необходимость исследования в положении больного сидя или стоя с руками, заведенными за голову. Повреждения костей верхней конечности исследуют как в положении больного лежа, так и сидя, и стоя. Повреждения костей нижней конечности исследуют в положении больного лежа, стопы — лежа или сидя. При исследовании старались придать пациенту такое положение, в котором обеспечивался наиболее удобный и информативный доступ к месту повреждения. Проведения анестезии при УЗИ не требовалось.

Первичное УЗИ проводили при поступлении пациента. Программа динамического УЗИ строилась в зависимости от локализации, вида и способа лечения перелома. Исследование костных структур при подозрении на перелом кости на ранних сроках производили с использованием линейного датчика с частотой 7,5 МГц, который устанавливался продольно над поврежденным сегментом кости, перпендикулярно кожной поверхности. Производилось первичное

сканирование по всей длине кости. Целью исследования было выявление места перелома с угловой деформацией и определением области интереса. При большой глубине залегания кости (например, при исследовании бедра) меняли датчик на конвексный с частотой 3,5 МГц.

Далее проводилось прицельное исследование области интереса, когда датчик перемещался продольно с учетом определенной проекции кости на кожу, с более детальной характеристикой места перелома с определением количества костных отломков, степени их смещения, направления линии перелома.

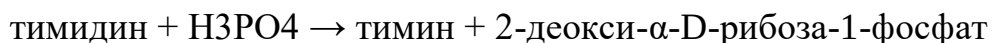
Затем при исследовании длинных трубчатых костей производилось мультиплоскостное УЗИ. При исследовании плоских костей при необходимости прибегали к получению косых сканов. При обнаружении свободно лежащих костных фрагментов определяли следующие их характеристики:

- глубину залегания от поверхности кожи;
- размеры и конфигурацию;
- проекцию фрагмента на кожу;
- отношение к сосудам, нервам, сухожилиям, фасциям, другим отломкам.

3.3.3. Методы лабораторных исследований

Тимидинфосфорилазную активность тромбоцитарного фактора роста (PDGF) определяли спектрофотометрическим методом. При этом тимидинфосфорилаза (ТФ) и креатинфосфатаза (КФ) – это ключевой фермент катаболизма пиримидиновых нуклеотидов, который обратимо превращает тимидин в тимин. ТФ активность определяли спектрофотометрически на длине волны максимального поглощения продукта реакции – тимина (Рисунок 3.1).

Рисунок. 3.1



Реактивы:

- 1) К-фосфатный буфер pH 7,4 75 мкмоль;
- 2) 0,4 мкмоль тимидин;
- 3) 0,01 н р-р NaOH, pH 13

Ход определения: инкубационная среда содержит следующие компоненты:

Тимидин растворенный в К-фосфатном буфере	0,1 мл
К-фосфатный буфер pH 7,4	0,3 мл
сыворотка (гомогенат тканей, суспензия лимфоцитов)	0,15 мл
общий объем проб - 0,55 мл.	

Определение активности фермента требует наличия двух пробирок - опытной и контрольной. В контрольную пробирку наливали инкубационную среду, состоящую из К-фосфатного буфера, содержащего тимидин. Ту же манипуляцию проводили с опытной пробиркой, но затем в нее вводили 0,15 мл образца, содержащего фермент (сыворотку, гомогенат тканей, суспензию лимфоцитов), разведение в 10 раз, перемешивали. Пробы инкубировали в термостате в течение 30 мин, при 37°C. Реакцию останавливали, помещая пробирки в кипящую водяную баню на 3 минуты, затем резко охлаждали на льду (2 минуты). Объем проб доводили до 3 мл 0,01н раствором NaOH, осаждая белок. Выпавший в осадок белок удаляли центрифугированием при 3000 оборотах в минуту в течение 10 минут. Специфическую активность фермента рассчитывают по формуле (Рисунок 3.2.):

Рисунок 3.2

$$A = \Delta D \times 10^9 / (1000 \times C \times \Delta t \times E)$$

где ΔD - оптическая плотность содержимого пары пробирок (опыт и контроль) при длине волны 300 нм;

C - концентрация белка, мг/ мл (определяли методом Лоури), умножается на 1000 для перевода в мг/л

Δt - время инкубации, 30 мин;

10^9 - коэффициент пересчета моль/(мин×мг) в нмоль/(мин×мг)

E – коэффициент молярной экстинкции (тимин = 6400 л/(моль×см))

За единицу ферментативной активности принимали увеличение экстинкции тимина при 300 нм на мг белка в течение 30 минут инкубации, условные единицы специфической активности переводили в нмоль / мин на 1 мг белка, который определяли в сыворотке крови методом Лоури.

3.3.4. Методы статистической обработки полученных результатов

Статистический анализ результатов проведен с использованием лицензионного пакета прикладных программ Statistica-12.0 (StatSoft). Данные в таблицах и по тексту представлены в виде средних значений (M) и их стандартных отклонений (σ).

Статистические характеристики распределения на графиках представлены в виде средних значений (M) и их стандартных ошибок (m). Различия между частотами регистрации клинических признаков заболевания считали достоверными при $p < 0,05$ (двусторонний критерий). Для оценки статистической связи между метрическими показателями использовали процедуру парного корреляционного анализа Пирсона; для сопоставления непараметрических показателей – корреляционный анализ Спирмена.

РАЗДЕЛ 4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СОНОГРАФИЧЕСКОГО И РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДОВ В ОРТОПЕДО-ТРАВМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Современная диагностика повреждений опорно-двигательного аппарата преимущественно опирается на рентгенологический метод исследования, не смотря на его рутинность, что в свою очередь предполагает выполнение рентгенологических снимков сегментов скелета человека только в двух проекциях: прямой и боковой

. Однако простота и быстрота выполнения данного исследования не исключает его недостатков – получение плоского изображения и соответственно невозможность оценки «глубины» изучаемой области по шкале трехмерных координат. Двухмерная рентгенография не дает возможности адекватной визуализации повреждения для последующей репозиции сегментов костных отломков.

Особое внимание следует обратить и на технику выполнения рентгенографического исследования: снимки должны быть выполнены в строго определенных проекциях. Данное требование не всегда получается выполнить из-за боли, возникающей при патологической подвижности фрагментов или из-за угрозы более масштабного повреждения костными отломками мягких тканей, внутренних органов, что в итоге заканчивается некачественными для диагностики снимками, не позволяющими в последующем выполнить адекватную репозицию.

При применении рентгенологического метода, сохраняется неразрешенная проблема несостоятельности в визуализации повреждений сегментов опорно-двигательного аппарата и мягких тканей в области

перелома. Современные методы исследования, такие как компьютерная томография, уже позволяют выполнить трехмерную реконструкцию, которая в цифровом изображении показывает стояние костных фрагментов, но, не смотря на достаточную информативность - изображение статично и не позволяет оценить изменения при манипуляциях с сегментами скелета. Современная модернизация компьютерной томографии идет по пути уменьшения расстояния между срезами, для улучшения визуализации патологических состояний сегментов опорно-двигательного аппарата, но статичность исследования остается не решенной задачей. Такие же недостатки присущи и магнитно-резонансному томографическому исследованию и аддитивным технологиям, которые позволяют получить только статичную трехмерную модель, которая не связана с мягкими тканями и не позволяет манипулировать ими во времени.

Вышеизложенное и определило одно из направлений нашего исследования, начальный этап которого посвящен изучению качественных и количественных характеристик поврежденных и неповрежденных тканей, структура и состояние которых имеют значение для адекватной репозиции и оценки костного сращения в последующем.

Для оценки информационно-диагностической ценности сонографического метода нами был проведен сравнительный анализ 2 групп пациентов, сформированных из 102 человек, поступивших в клинику. 1 группа- 53 пациента, которым для верификации диагноза при поступлении выполнялись рентгенологические и сонографические исследования; 2 группа - 49 пациентов, которым при поступлении было выполнено только рентгенологическое исследование.

Всем пациентам был поставлен первичный диагноз – повреждение сегментов ОДА.В своем исследовании мы определили критерии

информативности сонографического и рентгенологического исследования (Таблица 4.1.).

Таблица 4.1. Критерии информативности качественных характеристик сонографического и рентгенологического метода

Критерии информативности	1 группа пациентов	2 группа пациентов
-визуализация кожных покровов	+	-
- визуализация подкожно-жировой клетчатки	+	-
- визуализация фасциальных футляров	+	-
- визуализация мышц	+	-
- визуализация париетальной плевры и висцеральной брюшины	+	-
- визуализация кости и отломков	+	-
- визуализация интерпозиции	+	-

С учетом качественных критериев информативности сонографического метода, для диагностики наличия перелома, типа перелома, угла перелома, а в последующем и для контроля консолидации перелома, нами был разработан алгоритм, состоящий из семи последовательных этапов.

1 этап. Проводилось первичное сканирование по всей длине кости для выявления места перелома кости с определением области интереса и отклонения травмированной кости от продольной оси туловища.

2 этап. Определяли тип перелома (неоскольчатый или многооскольчатый) и его локализацию (метаэпифизарный или диафизарный). Датчик перемещался продольно с учетом определенной проекции кости на кожу, с более детальной характеристикой места перелома с определением количества костных отломков, степени их смещения, направления линии перелома. При исследовании плоских костей прибегали к получению косых сканов.

3 этап. Устанавливали угол перелома (угол положения дистального фрагмента кости по отношению к проксимальному фрагменту кости).

4 этап. Диагностировали наличие или отсутствие интерпозиции мягких тканей. При продольном сканировании определяли наличие гематомы в мягких тканях области перелома, ее размеры и локализацию, а также размеры зоны контузии мягких тканей. Отношение к окружающим тканям детализировали при поперечном сканировании.

5 этап. Расширенная оценка углового соотношения фрагментов кости.

6 этап. Оценка формирования регенерата (гипоэхогенный регенерат, гиперэхогенные мостовидные включения).

7 этап. Оценка периостального кровотока непосредственно в зоне перелома и на расстоянии 1-2 см от линии перелома.

Применение данного алгоритма позволяет определить первичную локализацию перелома, его тип и состояние мягких тканей в области повреждения. А в последующем выставить адекватные углы репозиции и обеспечить минимальное разрушение в мягких тканях в процессе выполнения медицинских манипуляций и оперативного лечения повреждения. При этом ткани либо попадают в зону сращения между отломками костей либо не попадают, что возможно установить только при

помощи ультразвуковой диагностики. При наличии интерпозиции репозиционные приемы повторяют под контролем ультразвукового датчика, что в последующем определяет консолидацию костной ткани и влияет на прогностический фактор развития посттравматических осложнений в области крупных суставов. Оценка периостального кровотока позволяет оценить изменения трофических свойств тканей, окружающих перелом и концах поврежденной кости, что соответственно формирует костную мозоль. При этом использовались нормальные взаимоотношения в сонографической картине, характерной для поврежденной и неповрежденной кости (Рисунок 4.1).

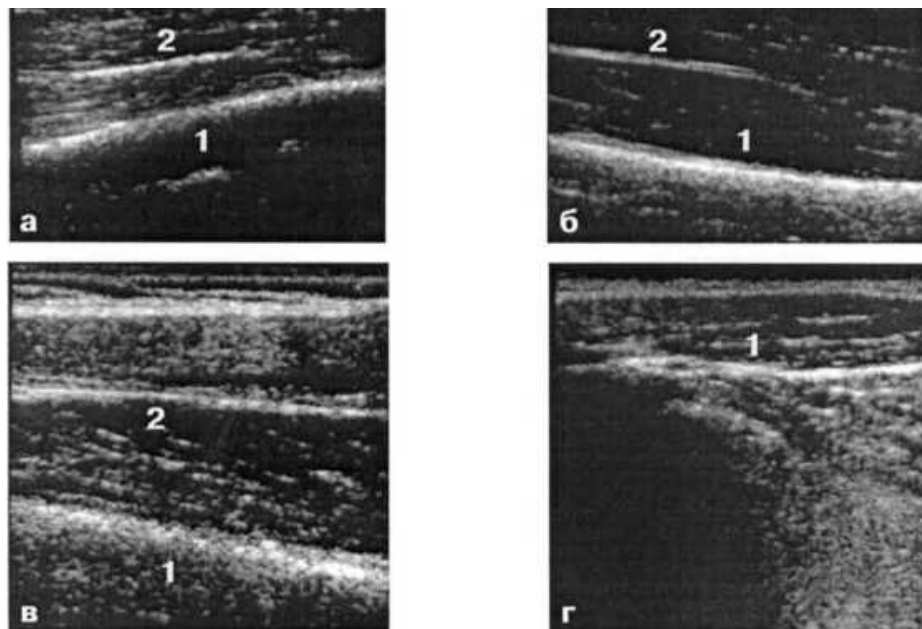
Рисунок 4.1. Алгоритм сонографической диагностики на различных этапах оказания ортопедо-травматологической помощи



Сравнительные исследования были проведены при поступлении и в процессе стационарного лечения.

Ультразвуковая картина кортикального слоя нормальной кости визуализируется в виде линейного непрерывного гиперэхогенного образования с дистальной акустической тенью. Использование датчика УЗИ при продольном сканировании позволяет увидеть кортикальную кость в виде линейного образования, а выведение датчика в поперечную плоскость соответственно меняет контуры изображения (Рисунок 4.2).

Рисунок 4.2. Эхограммы диафизов интактных трубчатых костей при продольном сканировании: а — плечевая кость в средней трети, стандартная проекция; б — локтевая кость в средней трети, стандартная проекция; в — бедренная кость в средней трети, стандартная проекция; г — ключица в средней трети при горизонтальном положении датчика;



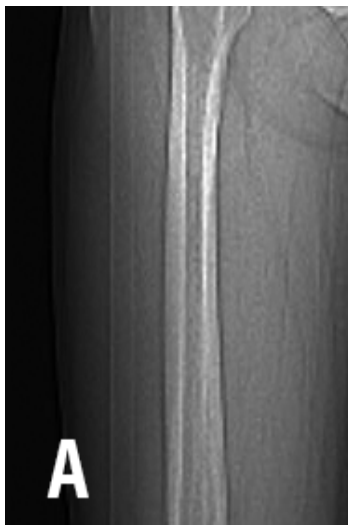
Примечание: 1 — кортикальный слой кости; 2 — фасции.

Рентгенологически визуально мы получали сходные изображения при исследовании бедра (Рисунок 4.3).

Конфигурация получаемого линейного образования находилась в прямой зависимости от формы исследовавшейся костной структуры и способа установки датчика над изучаемой областью.

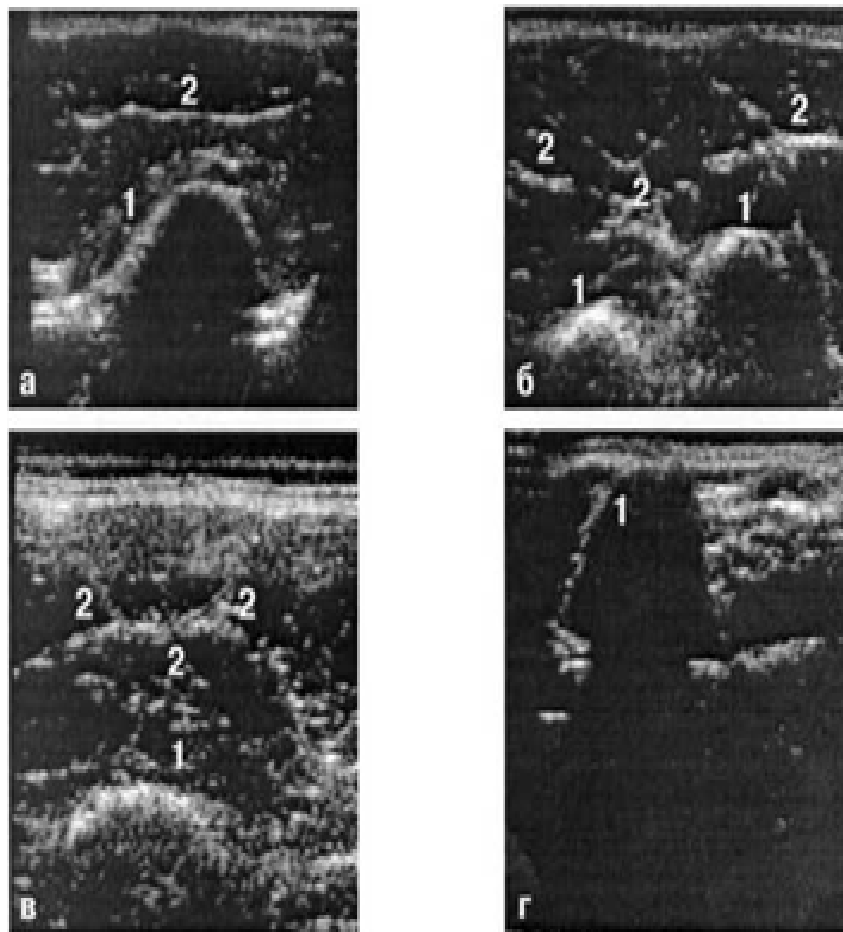
Так при продольном сканировании диафиза трубчатой кости визуализированный кортикальный слой имел вид прямой непрерывной гиперэхогенной линии.

Рисунок 4.3. Рентгенограмма бедер и компьютерно-томографическое исследование. а- рентгенография бедра в передне-задней проекции (без суставов); б- компьютерная томография бедра в сагиттальной проекции; в-компьютерная томография бедра в аксиальной проекции; г- компьютерная томография бедра в трехмерной реконструкции.



При поперечном же сканировании гиперэхогенный эхосигнал принимал форму полукольца (Рисунок 4.4).

Рисунок 4.4 Эхограммы диафизов интактных трубчатых костей при поперечном сканировании: а — плечевая кость в средней трети, стандартная проекция; б — предплечья в средней трети, в стандартной проекции; в — бедренная кость в средней трети, стандартная проекция; г — ключица в средней трети при вертикальном положении датчика.

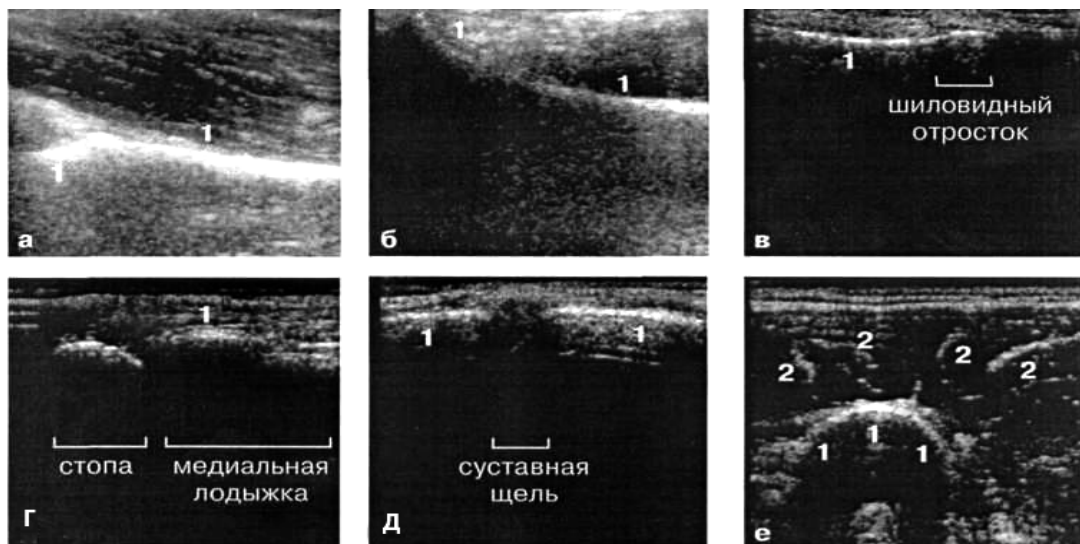


Примечание: 1 — кортикальный слой кости; 2 — фасция.

При исследовании эпифизов трубчатых костей изображение представляло собой проекцию контура кортикальной пластинки кости в плоскости, определявшейся способом сканирования (продольное,

поперечное) и углом, образуемым датчиком с горизонтальной плоскостью, т.е. типом проекции (Рисунок 4.5).

Рисунок 4.5 Эхограммы эпифизов интактных трубчатых костей: а — дистальный эпифиз плечевой кости в стандартной плоскости; б — дистальный эпифиз плечевой кости в стандартной плоскости; в — дистальный эпифиз локтевой кости в стандартной плоскости; г — дистальный эпифиз большеберцовой кости в стандартной плоскости; д — проксимальный эпифиз большеберцовой кости в стандартной плоскости; е — проксимальный эпифиз плечевой кости в стандартной плоскости при поперечном сканировании.



Примечание: 1 — кортикальный слой кости; 2 — фасция.

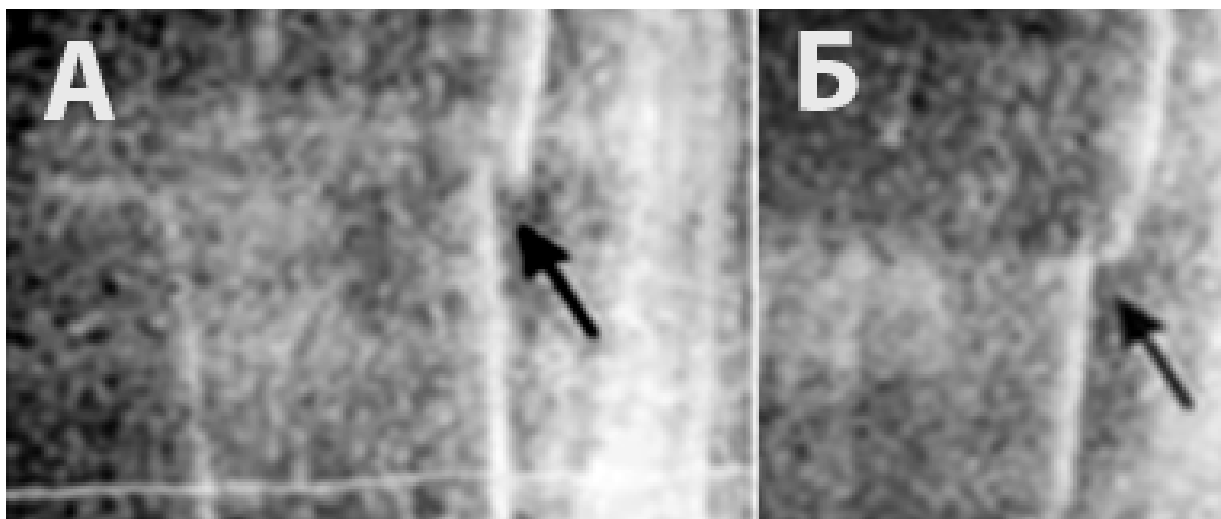
Исследование плоских костей - ребра и таз, напоминало исследование трубчатых костей с той лишь разницей, что при поперечном сканировании форма получавшегося эхосигнала была похожа скорее на полуовал, нежели на полукольцо.

В 100% случаев сонографически в месте перелома кости визуализировался перерыв гиперэхогенного сигнала кортикальной

пластинки, который не исчезал при изменении положения датчика и надавливания на него. При сонографическом исследовании возможность изменять положение датчика позволяет проследить направление линии перелома кости. Сигналы периферического и центрального отломков образуют между собой ступенеобразную структуру "Ступенька". Степень смещения отломков, может быть допустимо точно измерена. Возможность визуализации малых смещений напрямую зависит от разрешающей способности прибора. Во всех случаях незначительного смещения костных отломков присутствовал симптом «Ступенька», при этом минимальная измеренная величина смещения составила 0,5 мм. (Рисунок 4.6).

Рисунок 4.6. Сонограммы (А) и (Б) подздошной кости. Слева датчик расположен латерально сзади у больного Х., 1976 г.р.

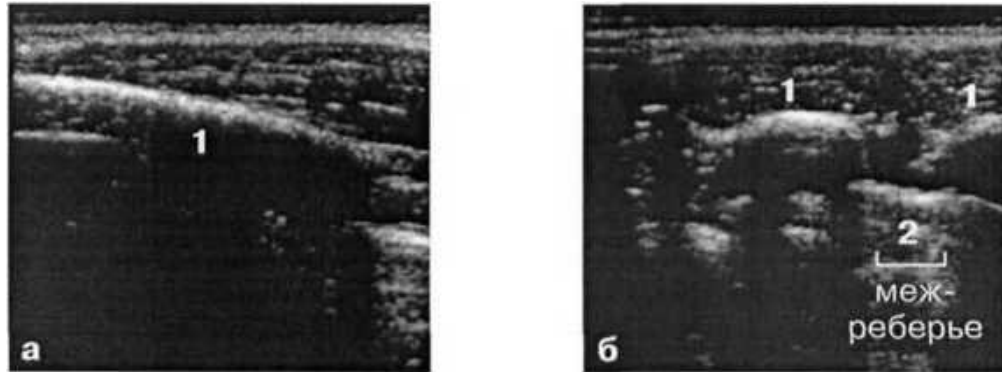
Определяются перелом подздошной кости слева со смещением отломков в пределах 3 мм.



Примечание: стрелка — место перелома.

Также оценивались другие плоские кости, например, ребра при изучении грудной клетки (Рисунок 4.7).

Рисунок 4.7. Эхограммы неповрежденного VI ребра по средней подмышечной линии: а — продольное сканирование; б — поперечное сканирование; 1 — кортикальный слой; 2 — париетальная плевра.



Исследование мягких тканей в норме было оценено по двум критериям.

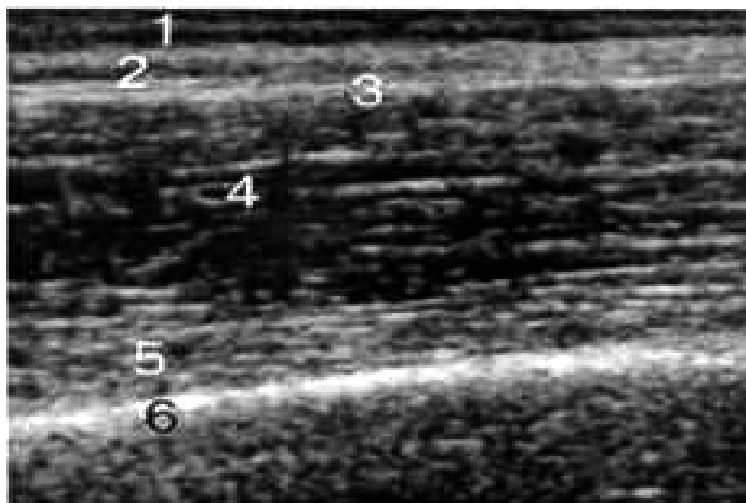
Первый критерий предполагал необходимость визуального представления области исследования для правильной ориентации в ней.

Второй критерий - наличие значений эхосигналов неповрежденных тканей, чтобы в дальнейшем было возможно провести сравнительное исследование с патологическими находками в месте перелома кости. Кожные покровы в наших исследованиях имели вид лентовидной структуры, повышенной эхогенности с отчетливыми контурами.

При этом сигнал от наружной поверхности кожи был ровным, от внутренней — слегка зазубренным.

Толщина кожи в различных областях варьировала в пределах 1,0-3,0 мм. (Рисунок 4.8).

Рисунок 4.8. Эхограмма средней трети бедра во 2 стандартной плоскости при продольном сканировании: 1 — кожа; 2 — подкожная клетчатка; 3 — поверхностная фасция; 4, 5 — промежуточная и медиальная широкие мышцы бедра (соответственно), разделенные межмышечной фасцией; 6 — кортикальный слой бедренной кости.



Подкожно-жировая клетчатка характеризовалась значительной вариабельностью толщины у разных пациентов и в различных участках тела, что в ряде случаев требовало замены датчиков. На эхограммах последняя отображалась в виде однородного лентовидного, слегка гипоэхогенного образования, состоящего из поверхностного и глубокого слоев. При хорошем развитии подкожной клетчатки у пациента, удавалось проследить, что ее поверхностный слой имел ячеистую структуру, а глубокий — слоистую.

Фасциальные футляры визуализировались в виде гиперэхогенных линейных тяжей толщиной 1-1,5 мм, расположенных между подкожной жировой клетчаткой и мышечной тканью, а также между группами мышц (Рисунок 4.7). Различия в толщине фасций в исследованных областях тела были незначительными.

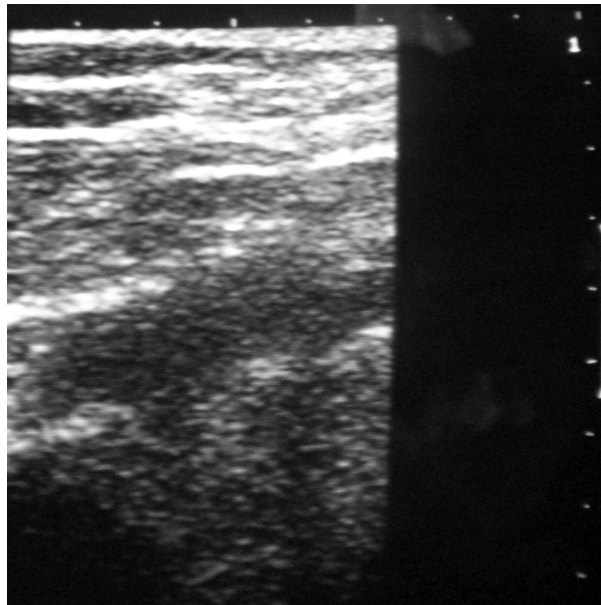
Мышцы в отличие от подкожной жировой клетчатки, при сканировании имели характерную неоднородную структуру, обусловленную параллельно идущими мышечными пучками и характеризовалась нормальной или слегка сниженной эхогенностью. В толще ее также просматривались линейные или точечные гиперэхогенные вкрапления. Межмышечные фасциальные прослойки хорошо визуализировались в виде гиперэхогенных линейных образований, что позволяло четко дифференцировать отдельные мышцы (Рисунок 4.7). При сонографическом исследовании мышечной ткани было эмпирически установлено, что эхо- сигнал от различных мышц имеет широкий диапазон колебаний. В связи с чем, для повышения точности исследования были определены стандартные плоскости для изучения повреждений сегментов конечностей. При этом в скан стандартного среза старались не включать сосудисто-нервный пучок.

Париетальная плевра и висцеральная брюшина представляли собой гиперэхогенную структуру толщиной 0,9-1,1мм располагающуюся сразу за мышечным слоем и формирующая грудную и брюшную полость с органами малого таза. Важным является оценка состояния мягких тканей в области повреждения сегмента, что определяет и костную репарацию. В наших исследованиях ультразвуковые признаки посттравматических и воспалительных изменений в мягких тканях на ранних сроках (1-5 сутки после травмы) имели место у всех больных. Наиболее частыми находками были различных размеров и локализации гематомы (96,2 %) и отек мягких тканей в зоне повреждения кости (93,4 %).

Гематома визуализировалась в виде гипоехогенного образования с нечеткими, неровными контурами. При прилегании гематомы к фасции, контур гематомы соотносился с краями фасции. В центре исследуемого образования визуализировались гипо- или анэхогенные зоны неправильной формы, с неровными контурами. При гематомах больших

размеров иногда отмечалось дорсальное усиление эхосигнала. При эхографии гематомы было установлено, что ее содержимое в ранних сроках - 1-5 сутки после перелома лизируется. Отек мягких тканей визуализировался в виде повышения интенсивности эхосигнала подкожной клетчатки с соответствующим уменьшением эхосигнала мышечной ткани. Размеры зоны контузии мягких тканей широко варьировали в зависимости от локализации и вида перелома. Четкой границы между зоной контузии и неповрежденными тканями выявлено не было (Рисунок 4.9).

Рисунок 4.9. Ультразвуковое исследование межтканевой гематомы



Малое количество выявленных интерпонируемых тканей (1,2 %) связано с тем, что при травме мышечная ткань травмируется и отекает и поэтому даже если первично ткань находится между поврежденными костями, то в последствии, за счет отека и изменениям микроциркуляции выходит из расположения между костными отломками, при этом эхосигнал соответствует мышечной ткани или фасции.

Наиболее информативной ультразвуковая визуализация изменений в мягких тканях была в промежутке времени от 2 часов до 2-3 суток с момента травмы. Исследование ранее 2 часов с момента повреждения не является информативным, так как не закончено образование гематомы, а также отек мягких тканей не достигает максимального развития. При исследовании позже 2-3 суток содержимое гематомы подвергается процессам биохимической трансформации, что меняет ее сонографическую картину и визуализацию на интраоперационном этапе.

Рентгенологическая оценка повреждений предусматривает возможность оценить структуру костных фрагментов рядом с линией перелома, а также саму линию перелома, увидеть стояние отломков, рассчитать углы, применив масштабирование, оценить размеры осколков и размеры диастазов.

Ультразвуковой метод позволяет выполнить вышеперечисленное и увидеть расположение мягких тканей, их характер, стояние костных отломков не только в стандартной плоскости, но и при изучении их датчиком на предмет подвижности и их взаимосвязи с мягкими тканями и сосудами. Попутно оценивается трофика зоны перелома, что позволяет превентивно думать о возможностях сращения повреждения.

Клинический пример №1

Пострадавший Б. 1966 года рождения, история болезни № 47772, доставлен в санпропускник Республиканского травматологического центра машиной скорой помощи 20.02.2020 года в 19-³⁵. Травма 20.02.2020 года огнестрельное пулевое ранение снайпером. Объективно: общее состояние относительно удовлетворительное.

Правильного телосложения, удовлетворительного питания. Кожные покровы и видимые слизистые физиологической окраски. Периферические

лимфоузлы не увеличены, безболезненные. Пульс 96 уд. в минуту, удовлетворительных свойств, АД 145/85 мм. рт. ст. Тоны сердца ритмичны, приглушены. В легких дыхание везикулярное, хрипов нет. Частота дыхания 19 в 1 минуту. Живот мягкий, при пальпации безболезненный. Отрезки кишечника без изменений, печень у края рёберной дуги. Физиологические отправления в норме. Локально: рана в проекции верхней трети правой голени, до 8 см в диаметре, с неровными краями и участками десквамации эпителия. Марлевая повязка с мазью левомеколь закрывает рану. Последняя умеренно промокла геморрагическим отделяемым. Отек правого коленного сустава верхней трети голени. Движения в коленном суставе болезненны, ограничены. Ось конечности изменена (торсия и боковая девиация). Пальпация болезненна по передней поверхности большеберцовой кости в верхней трети и в проекции раны. Симптом баллотирования надколенника отрицателен. Пульсация на тыльной артерии правой стопы удовлетворительных свойств, неврологических нарушений нет. Три шины Крамера лежат от стопы до верхней трети бедра, мягкие ткани не сдавливают.

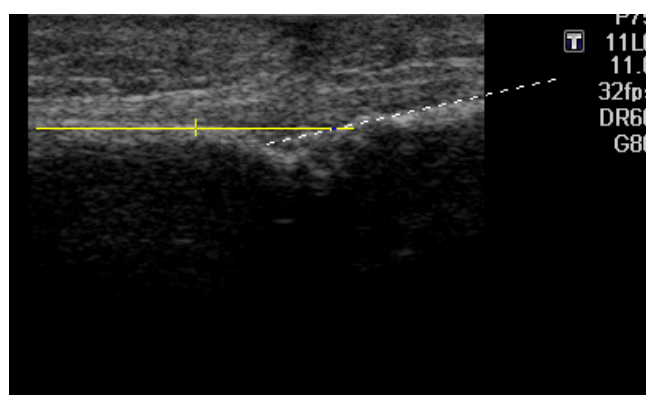
При поступлении пациента выполнена операция по обработке раны, последняя закрыта лоскутами из окружающих тканей. В отделении пациент был обследован рентгенографически, а затем сонографически. Рентгенологически диагностированы: открытый огнестрельный многооскольчатый метаэпифизарный перелом большеберцовой кости в верхней трети правой голени. Сонографически дополнительно диагностировано - интерпозиция мышечной ткани в зоне перелома большеберцовой кости. (Рисунок 4.10).

Рисунок 4.10. Рентгенография в 2 проекциях (при поступлении)
открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети
большеберцовой кости



При сонографическом исследовании до операции была выявлена угловая девиация больших костных отломков, что у пациента равнялось 12° относительно нормы, что при применении рентгенографического метода для визуализации не представилось возможным (Рисунок 4.11).

Рисунок 4.11. Сонография (при поступлении) открытый
огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети
большеберцовой кости



Первичный диагноз также включал в себя наличие множественных повреждений покровных мягких тканей, что определяло дальнейшую тактику хирургического ведения пациента. После заживления ран мягких тканей (до 3 недель) нами выполнена резекция нежизнеспособных фрагментов костной ткани и на уровне средней трети большеберцовой кости, параллельно выполнена остеоклазия в границе средней и верхней трети для выращивания регенерата, для чего был смонтирован компрессионно-дистракционный аппарат по Илизарову (Рисунок 4.12).

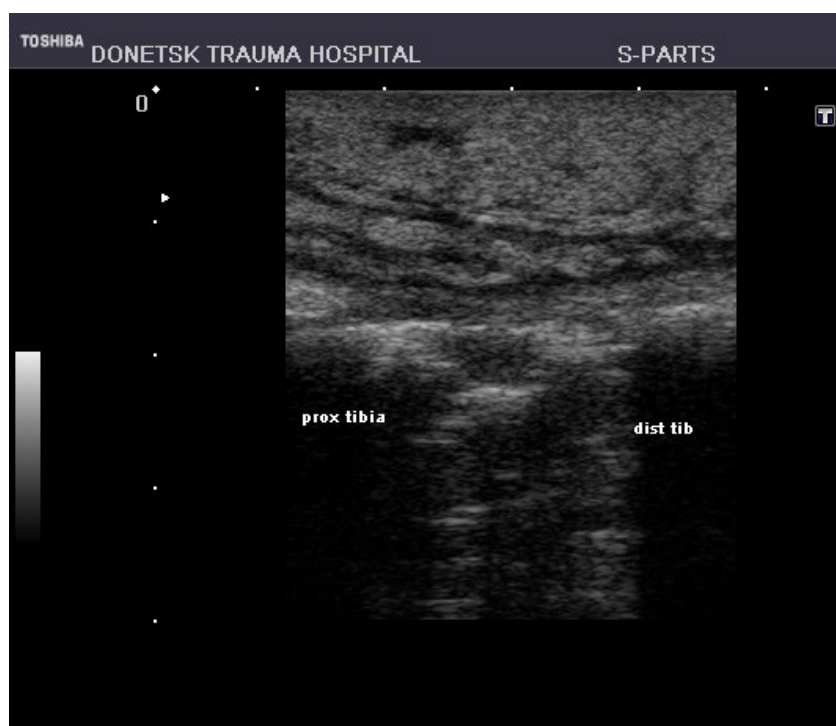
Рисунок 4.12. Рентгенография в 2 проекциях - открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети большеберцовой кости на этапе лечения, 7-е сутки после наложения аппарата внешней фиксации для биллокального восстановления длины голени



При сопоставлении информативности рентгенографических и сонографических методов визуализации костной регенерации на 7-ой день

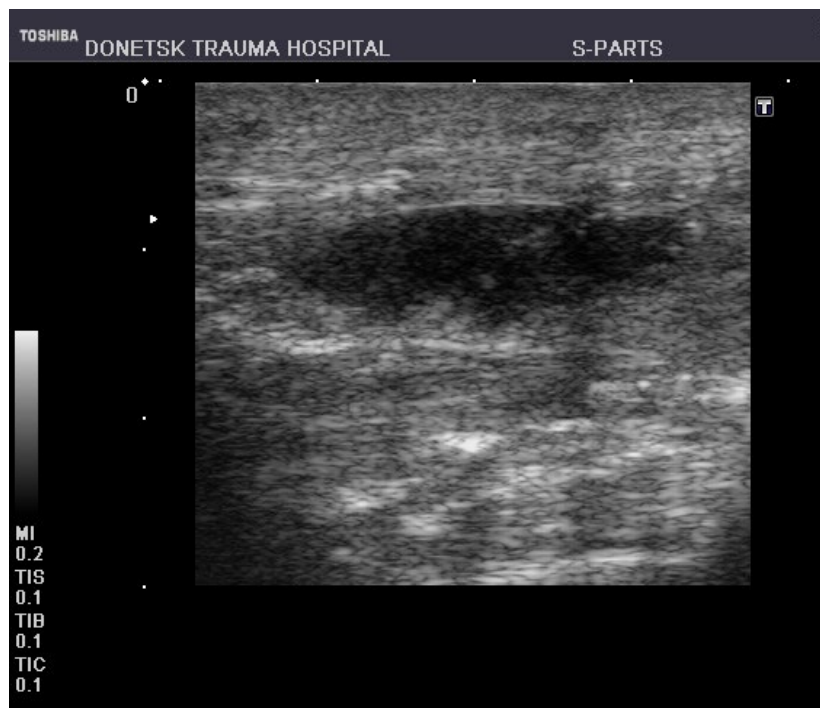
стационарного лечения нами получены следующие данные: - рентгенологически: диастаз между фрагментами остеоклазии до 5 мм;- сонографически: формирующийся мягкий регенерат, следующий периостально за выращиваемым костным фрагментом, что не отображается рентгенологически (Рисунок 4.13).

Рисунок 4.13. Сонография открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети большеберцовой кости на этапе лечения, 7-е сутки после наложения аппарата внешней фиксации



При дальнейшем наблюдении за пациентом, на 30-е сутки стационарного лечения при использовании рентгенографической оценки зоны костной регенерации не визуализировался периостальный кровоток и костные балки (Рисунок 4.14).

Рисунок 4.14. Сонография открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети большеберцовой кости, 30-е сутки выращивания регенерата



Тогда как сонографии визуализировался частично оксифицированный мягкий регенерат, что свидетельствовало о формировании репаративных процессов в кости (Рисунок 4.15).



Рисунок 4.15. Рентгенография открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети большеберцовой кости на этапе лечения, 30-е сутки выращивания регенерата

Заключительный этап сравнения рентгенографической и сонографической картины перелома верхней трети большеберцовой кости проводили на 45-е сутки стационарного лечения. Рентгенографически визуализировали тонкие тени в области проксимального и дистального фрагментов дистракционного регенерата, что свидетельствовало о появлении костных балок (Рисунок 4.16).

Рисунок 4.16. Рентгенография. Открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети большеберцовой кости на этапе лечения, 45-е сутки выращивания регенерата

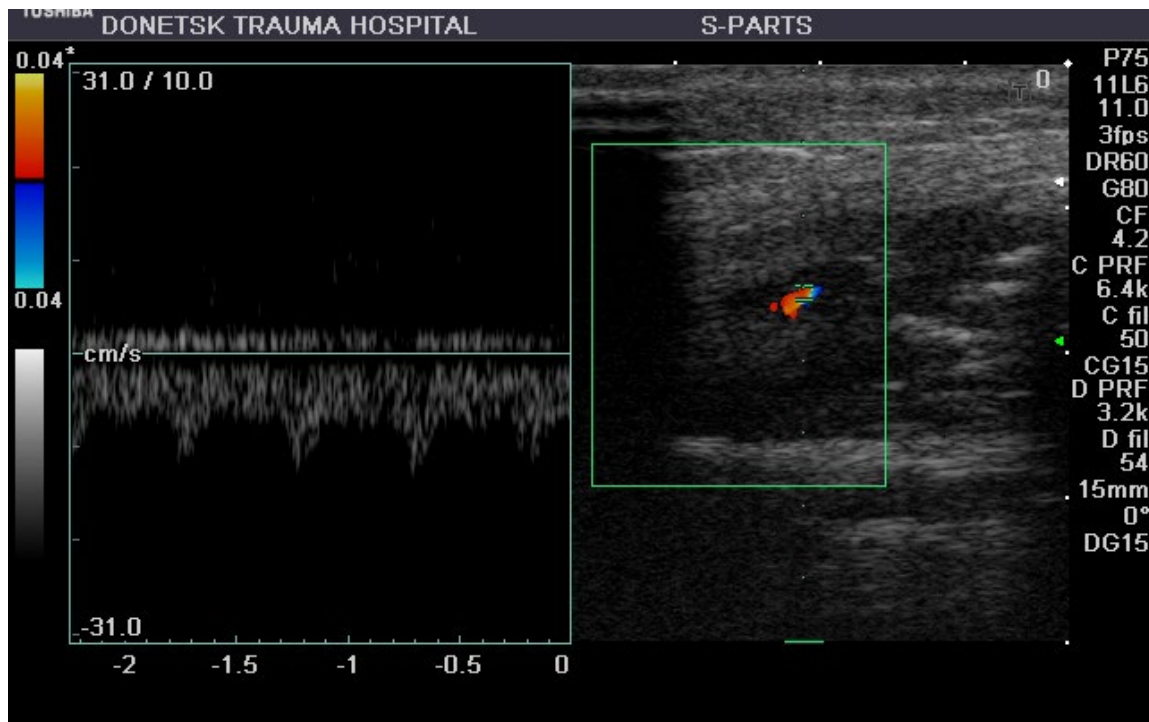


Сонографически визуализировали кровеносные сосуды в толще регенерата, что являлось благоприятным прогностическим признаком консолидации перелома.

В настоящее время больной продолжает амбулаторное лечение в аппарате внешней фиксации, рана зажила под лоскутом, больной передвигается с опорой на костыли. Аппарат стабилизирован в положении

укрепления регенерата, ведется периодический сонографический контроль. (Рисунок 4.17).

Рисунок 4.17. Сонография. Открытый огнестрельный многооскольчатый перелом верхней трети большеберцовой кости, 45-е сутки выращивания регенерата



Клинический пример №2 (использование ультразвуковой интраоперационной навигации при первичной репозиции костей таза после травмы).

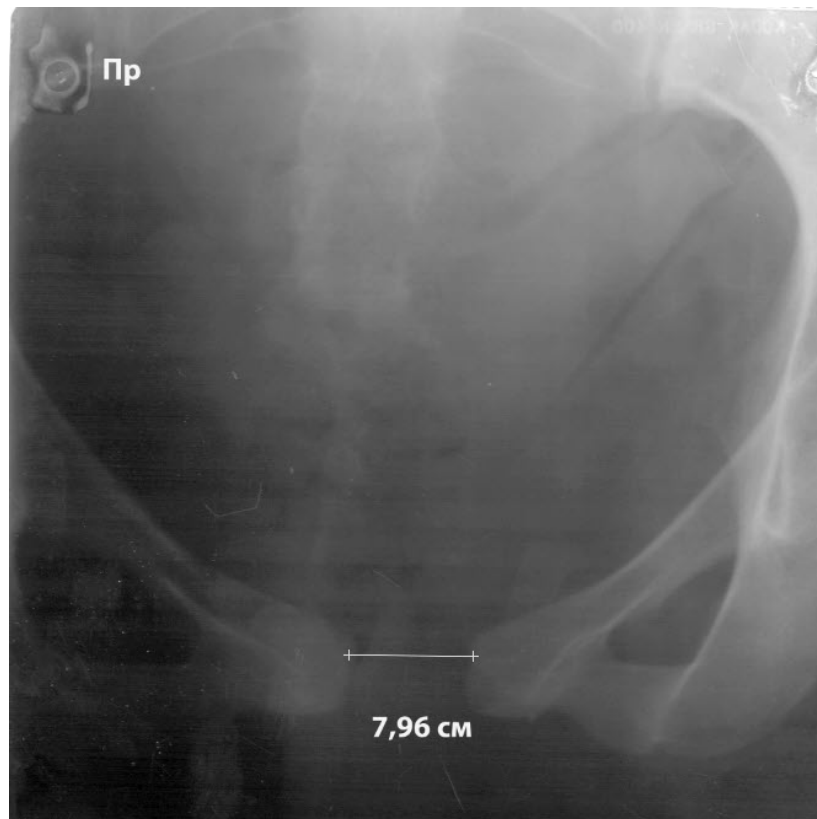
Пострадавший К. 1960 года рождения, №65262 истории болезни. Травма при дорожно-транспортном происшествии 18.03.2019, сбит автомобилем, доставлен в санпропускник Республиканского травматологического центра машиной скорой помощи 18.03.2019 в 20³⁰. Объективно: Больной на каталке. Сознание ясное, адекватен. Запах алкоголя изо рта. Состояние тяжёлое. Нормального телосложение, повышенного питания. Кожные покровы и видимые слизистые без особенностей. Периферические лимфоузлы не увеличены. Пульс 90 в минуту, удовлетворительных качеств. АД 110/70 мм.рт.ст. Тоны сердца

ясные, ритмичные. Частота дыхания 18 в минуту, аускультативно везикулярное над всеми полями легких, хрипов нет. Живот симметричный, принимает участие в акте дыхания, при пальпации безболезнен во всех отделах. Симптомы раздражения брюшины отрицательные. Печень и селезенка не пальпируются. Поколачивание по поясничной области безболезненно. Физиологические отправления: мочеиспускание через уретральный катетер (моча светлая, прозрачная, диурез достаточный), стула не было. Местно: Отмечается видимая асимметрия таза за счёт ротации и смещения во фронтальной плоскости правой половины таза. Пальпация лобкового симфиза и обоих крестцово – подвздошных сочленений вызывает боль. Положительный симптом Гориневской с обеих сторон. Симптом сагиттальной нестабильности положителен справа. Ушиблено – рваная рана по передней поверхности левого коленного сустава, размером 20 х 3 см, рана умеренно кровоточит. Дном раны является поверхностная фасция бедра, умеренно кровит. Нейроциркуляторных нарушений нет.

При поступлении в отделение пациент был обследован рентгенографически (Рисунок 4.18), а затем сонографически (Рисунок 4.19).

Рентгенологически при исследовании области таза диагностированы в передне-задней проекции – разрыв лобкового симфиза с диастазом до 8 см, перелом лобковой кости слева, разрыв обоих крестцово – подвздошных сочленений с выраженной деформацией тазового кольца. На рентгенограммах черепа, левого коленного сустава, обзорной грудной клетки, поясничного отдела позвоночника в боковой проекции от 18.03.2019 – грубого нарушения целостности костной ткани не выявлено. Сонографически дополнительно диагностирована интерпозиция мышечной ткани в зоне обоих крестцово-подвздошных сочленений и лобкового симфиза.

Рисунок 4.18. Рентгенограмма таза от 18.03.2019 в передне-задней проекции – разрыв лобкового симфиза с диастазом до 8 см, перелом лобковой кости слева, разрыв обоих крестцово – подвздошных сочленений с выраженной деформацией тазового кольца

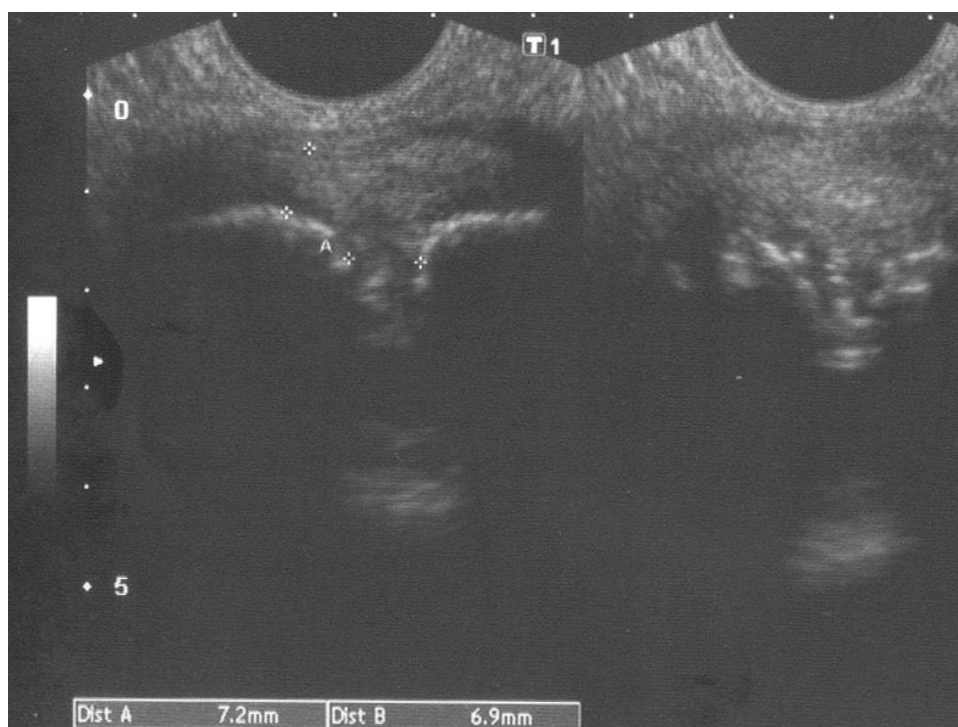


Рентгенологически при исследовании области таза диагностированы в передне-задней проекции – разрыв лобкового симфиза с диастазом до 8 см, перелом лобковой кости слева, разрыв обоих крестцово – подвздошных сочленений с выраженной деформацией тазового кольца. На рентгенограммах черепа, левого коленного сустава, обзорной грудной клетки, поясничного отдела позвоночника в боковой проекции от 18.03.2019 – грубого нарушения целостности костной ткани не выявлено. Сонографически дополнительно диагностирована интерпозиция мышечной ткани в зоне обоих крестцово-подвздошных сочленений и лобкового симфиза.

Рисунок 4.19. Сонография таза от 18.03.2019 года во фронтальной проекции, разрыв симфиза до 8см



Через четыре часа после травмы - ургентная операция: внешняя фиксация повреждений таза аппаратом переднего типа (Рисунки 4.20), разработанным в клинике, под контролем сонографии во время операции (Рисунок 4.21).



**Рисунок 4.20.
Интраоперационная
ультразвуковая
навигация
отломками таза**



Рисунок 4.21.
Ультразвуковая
навигация
репозиция суставов
области таза



Рисунок 4.22.
Рентгенограмма
таза от 22.03.2019 в
передне-задней
проекции – разрыв
лобкового симфиза
сведен, перелом
лобковой кости
слева смещение не
визуализируется,
сведен разрыв
обоих крестцово –
подвздошных
сочленений

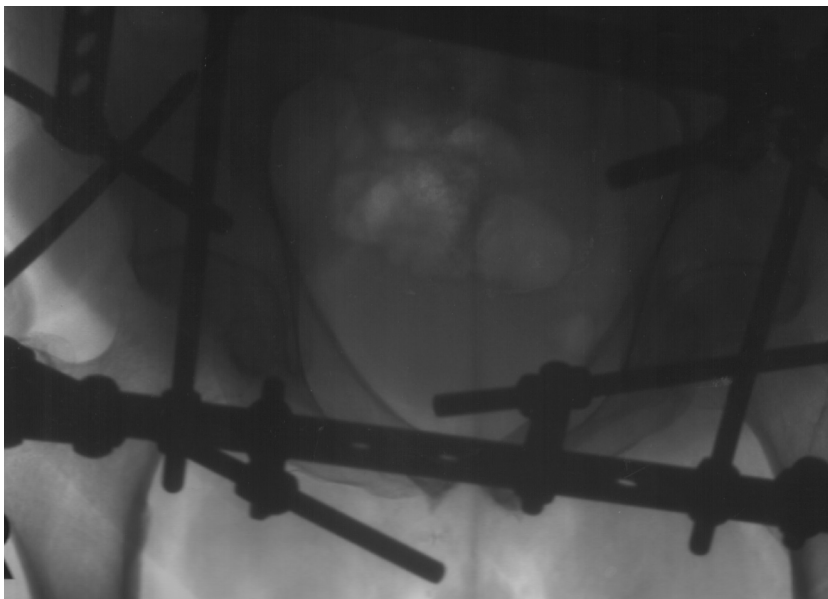


Рисунок 4.23
Рентгенограмма
таза от 22.03.2019 в
укладке «вход в
таз» стояние костей
таза и фрагментов
удовлетворительное



Рисунок
4.24.Сонография
22.03.2019 в
передне-задней
проекции – разрыв
лобкового симфиза
сведен, перелом
лобковой кости
слева смещение не
визуализируется,
сведен разрыв
обоих крестцово –
подвздошных
сочленений



Рисунок 4.25
Внешний вид
больного через 2
недели после
травмы



Рисунок 4.26
Компьютерная
томограмма через 2
года после травмы,
обзорная
топограмма

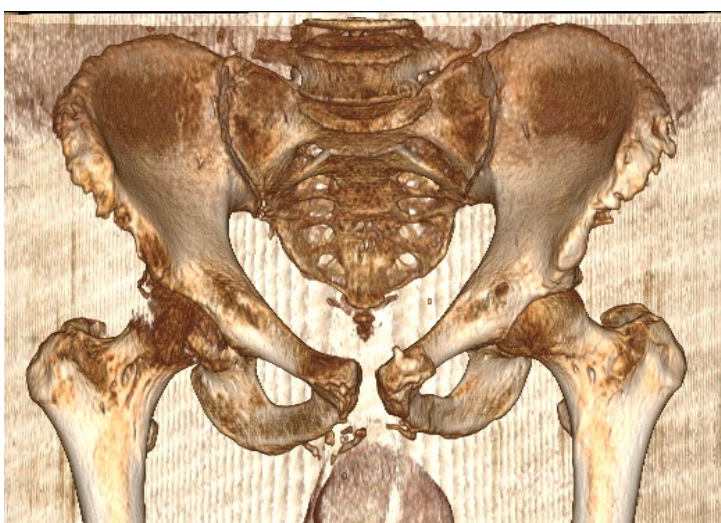


Рисунок 4.27
Трехмерная
перестройка
изображения в
компьютерной
томограмме, через 2
года после травмы

После оперативного вмешательства выполнен рентгенконтроль (Рисунки 4.22 и 4.23) стояние костей таза удовлетворительное. Лобковый симфиз сведен. Одномоментное выполнение ультразвукового мониторинга показало сведение лобкового симфиза, анатомическое стояние костей таза, образующий лобковый симфиз (Рисунок 4.24).

Пострадавший (внешний вид после операции) (Рисунок 4.25) на второй день был вертикализирован, через 2 недели активен в постели, раны зажили первично, сонографический контроль, подтвержденный рентгенологически, показал удовлетворительное соотношение в суставах таза и внешних ориентирах тазового кольца. Аппарат снят через 2 месяца после травмы, через 6 месяцев пострадавшему отменен режим костылей, назначен ортопедический режим, восстановительное санаторно-курортное лечение. Через 2 года контроль области повреждения методом компьютерной томографии, перестройка изображения в трехмерном пространстве показала удовлетворительное расположение костей, образующих тазовое кольцо. Таз стабилен (Рисунки 4.26 и 4.27).

Интраоперационно в обеих группах исследования оценивали смещение костных отломков с помощью рентгенографического метода и сонографического исследования в стандартных плоскостях - сагиттальной и фронтальной.

Ультразвуковое исследование позволило объективной точностью оценить конфигурацию костных отломков, присутствие свободно лежащих костных фрагментов, их размеры и взаимоотношение с окружающими мягкими и костными тканями. Оценка смещения отломков была возможна в любой интересующей плоскости (исследование ограничивалось только возможностью установки датчика над местом перелома).

При проведении рентгенографического исследования смещения костных отломков до операции и интраоперационно в сагиттальной и

фронтальной плоскостях нами ожидаемо, установлена статистически значимая разница между показателями. Также статистически значимая разница между до - и интраоперационными показателями описана и для угловых отклонений проксимальных и дистальных фрагментов кости.

Для рентгенографических и сонографических показателей получено, что смещение костных отломков до операции и интраоперационно в сагиттальной проекции статистически значимо не отличается от смещения костных отломков во фронтальной проекции, разница для угловых отклонений проксимальных и дистальных костных фрагментов интраоперационно одинакова (при $p=0,0001$). При сонографическом исследовании получено, что статистически значимые различия между показателями смещения костных отломков и угловыми отклонениями проксимальных и дистальных костных фрагментов отсутствуют для всех сопоставленных пар наблюдения, кроме фронтальной плоскости до - и интраоперационно (при $p=0,0001$). (Таблица 4.2).

Таблица 4.2. Сравнительные данные по оценке смещения отломков и углам отклонения костных фрагментов на до - и интраоперационном этапах

Данные по оценке методов исследования	Рентгенологические (сагиттальная и фронтальные плоскости)	Сонографические (сагиттальная и фронтальные плоскости)
Смещение отломков до операции	12,9± 5,53	8,54±4,03
	11,9± 4,46	11,81±4,41
Смещение отломков интраоперационно	3,18±3,25	3,97±2,53
	3,21±1,17	3,26±1,13

Продолжение Таблицы 4.2.		
Угловые отклонения проксимальных и дистальных фрагментов до операции	12,8±3,98	12,8±4,18
	11,8±4,87	11,8±4,04
Угловые отклонения проксимальных и дистальных фрагментов интраоперационно	4,42±1,42	4,84±1,28
	6,65±3,85	7,18±3,94

Примечание: отличия показателей до операции и интраоперационно статистически значимо отличаются при $p=0,0001$.

Далее при проведении корреляционного анализа данных полученных при рентгенографическом исследовании и при сонографическом исследовании для нашей группы пациентов, нами логически получена тесная корреляционная связь практически для всех сопоставляемых нами показателей (Таблица 4.3).

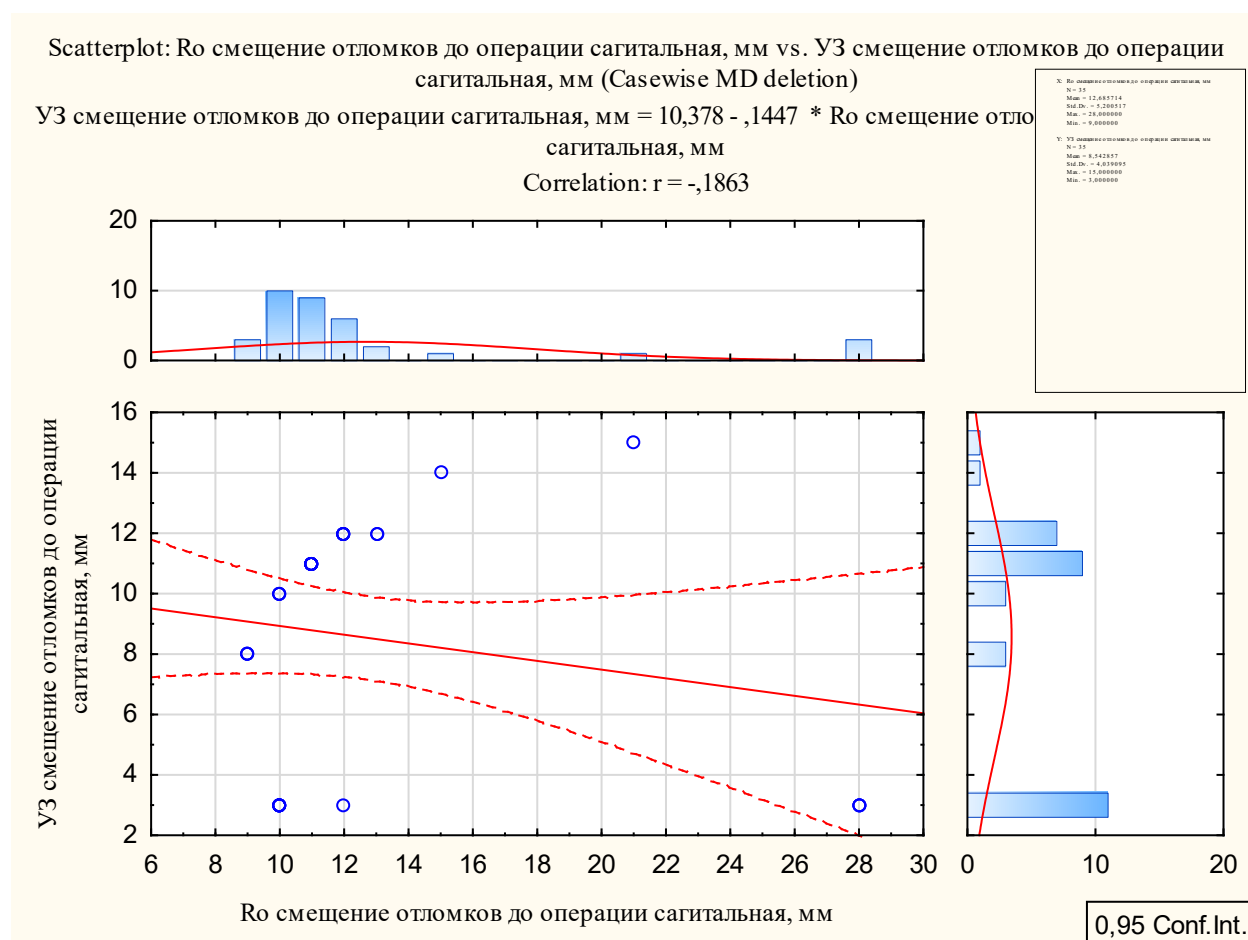
Таблица 4.3. Корреляционный анализ рентгенографических и сонографических показателей

Показатель	R Корреляционный коэффициент	P достоверность исследования
До операции		
Смещение костных отломков до операции, сагиттальная плоскость	- 0,19	0,284

<i>Продолжение Таблицы 4.3.</i>		
Угловые отклонения проксимальных и дистальных костных фрагментов, сагиттальная плоскость	0,98	0,001
Смещение костных отломков, фронтальная плоскость	0,98	0,001
Угловые отклонения проксимальных и дистальных костных фрагментов, фронтальная плоскость	0,99	0,0001
После операции		
Смещение отломков до операции, сагиттальная плоскость	0,81	0,001
Угловые отклонения проксимальных и дистальных фрагментов, сагиттальная плоскость	0,69	0,001
Смещение отломков, фронтальная плоскость	0,98	0,0001
Угловые отклонения проксимальных и дистальных фрагментов, фронтальная плоскость	0,99	0,0001

Так, только для пары рентгенографического и сонографического показателей смещения углов в сагиттальной плоскости на дооперационном этапе коэффициент корреляции был недостоверным и составил - 0,186 (Рисунок 4.28).

Рисунок 4.28. Взаимосвязь рентгенографического и сонографического показателей смещения отломков на дооперационном этапе для сагиттальной плоскости



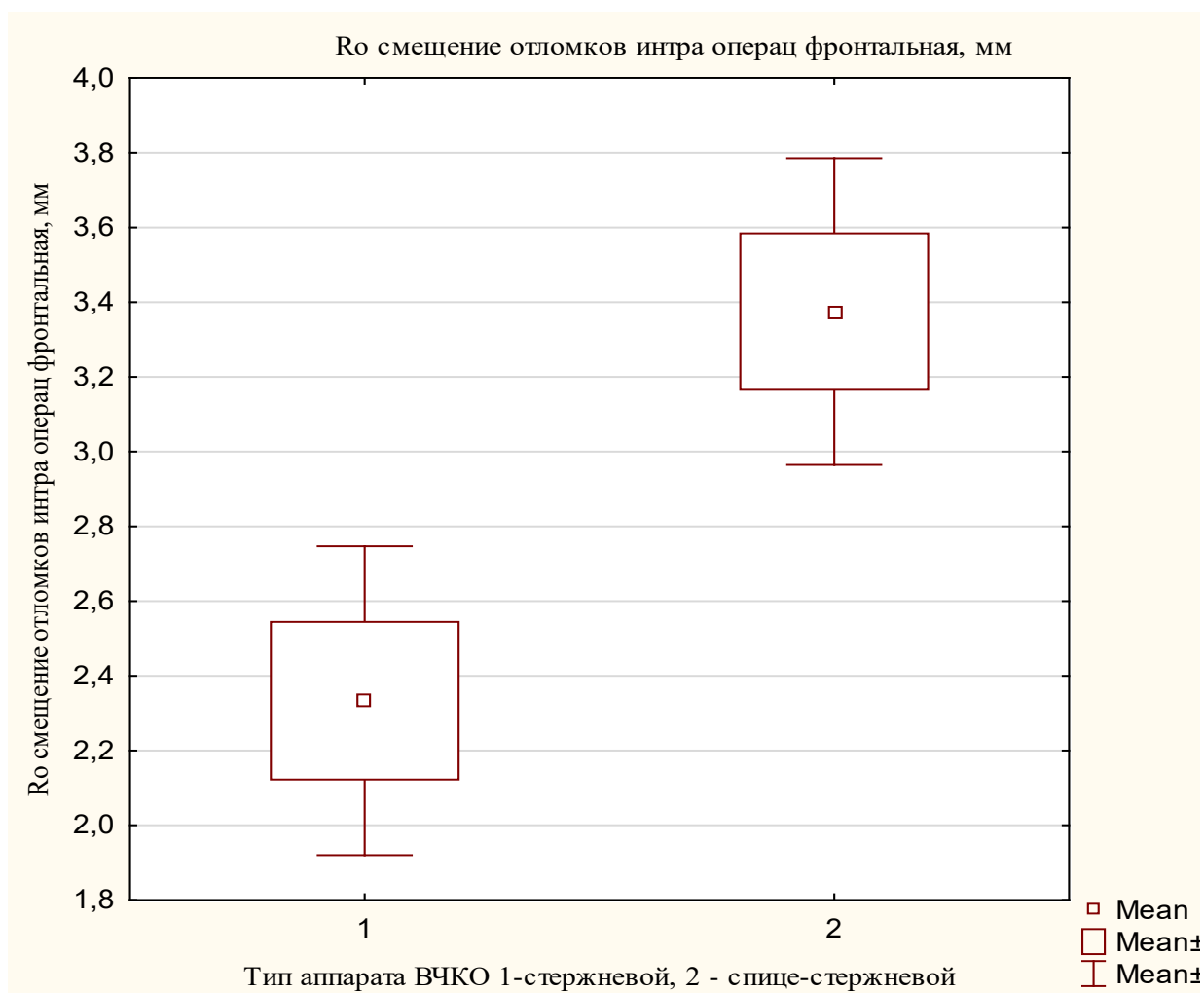
Установлена статистически значимая заметная корреляционная связь для показателя угловых отклонений проксимальных и дистальных отломков интраоперационно для сагиттальной плоскости. Тогда как, для этой же плоскости показатель смещения отломков в миллиметрах для рентгенографического и сонографического метода исследования имел

статистически значимую тесную корреляционную связь. Однако нельзя утверждать, что в данном случае более тесная корреляционная связь для пары рентгенографического и сонографического исследования, которые описывают смещение костных отломков в миллиметрах более диагностически ценно так как разница между коэффициентами корреляции статистически недостоверна и равна $p=0,268$.

45 (84 %) пациентам интраоперационно были смонтированы спице-стержневые (гибридные) аппараты внешней фиксации и только 8 (16 %) пациентам были установлены стержневые конструкции. При статистическом анализе нами установлена значимая разница между пациентами, которые имели разные типы аппаратов внешней фиксации. Так, только рентгенографически во фронтальной плоскости было установлено, что смещение костных отломков было меньше и составляло $2,33 \pm 0,516$ мм при фиксации стержневым типом аппарата внешней фиксации, чем спице-стержневым (соответственно $3,38 \pm 1,18$ мм, при $p=0,042$) (Рисунок 4.29).

Стержневой аппарат внешней фиксации был использован при значительных разрушениях сегментов конечностей, а гибридный вариант аппарата внешней фиксации был использован у пациентов, которые изначально имели более обширные по локализации и размерам разрушения мягких тканей. Однако при анализе углов смещения на дооперационном этапе статистически значимой разницы в смещении костных отломков и углах отклонения проксимальных и дистальных отломков для группы пациентов, с гибридной фиксацией спице-стержневым аппаратом и стержневым аппаратом нами установлено не было. Поэтому у пациентов со стержневой конструкцией мануальное первичное вправление было более адекватным интраоперационно у пациентов со стержневой конструкцией чем у пациентов с гибридной фиксацией.

Рисунок 4.29. Отличия смещения костных отломков интраоперационно для групп с различными типами аппарата внешней фиксации



Установлено, что существуют статистически значимые отличия для углов проксимальных и дистальных костных фрагментов на интраоперационном этапе для сагиттальной плоскости, как при рентгенографическом методе исследования, так и при сонографическом.

Наш опыт показал, что не существует статистически значимой разницы между рентгенографическими показателями смещения отломков в миллиметрах и угловыми отклонениями проксимальных и дистальных

костных фрагментов в градусах для сагиттальной плоскости. Но при этом получены данные свидетельствующие о том, что между рентгенографическими и сонографическими показателями угловых отклонений проксимальных и дистальных костных фрагментов существует тесная корреляционная связь. А вот признаки консолидации при рентгенографии и не коррелируют.

Клинический материал предусматривает, что рентгенографически оценка углов смещения во фронтальной и сагиттальной плоскости при использовании различного вида аппаратов внешней фиксации интраоперационно возможно оценивать угол наклона проксимальных и дистальных костных фрагментов.

Использование сонографической диагностики на дооперационном этапе и применение сонографической локации интраоперационно статистически значимо прямо и очень тесно коррелирует с рентгенографическими данными.

Описанные выше клинические случаи позволяют сделать вывод, о том, что при многоэтапном лечении открытых повреждений сегментов конечностей использование сонографической визуализации в практике врача травматолога-ортопеда облегчает репозицию и дальнейшую оценку консолидации зоны перелома. Сонография позволяет интерпретировать интерпозицию мягких тканей, угловую девиацию костных отломков и соответственно их корректную репозицию.

И наоборот, рентгенографически невозможно корректно и достоверно оценить процесс формирования костного регенерата после наложения аппарата внешней фиксации. И только на 45 сутки стационарного лечения на рентгенограмме появляются тонкие тени в области проксимального и дистального фрагментов distractionного

регенерата, которые являются признаком выращивания регенерата и формирования костной мозоли.

Таким образом, сонографический метод может быть предложен как альтернатива рентгенологическому, так как в дооперационной и интраоперационном периодах является более наглядным в визуализации объема мягкотканого повреждения и стояния костных отломков.

РАЗДЕЛ 5. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СОНОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТИНОЙ ВАСКУЛЯРИЗАЦИИ ЗОНЫ КОНСОЛИДАЦИИ ПЕРЕЛОМА С БИОХИМИЧЕСКИМ МАРКЕРОМ АНГИОГЕНЕЗА

Для исследования и наблюдения процессов остеорепарации у пациента, получившего травму, нами были изучены исследования данных кровоснабжения надкостницы, количественные показатели морфогенеза, которые активно участвуют в процессах кровоснабжения и костеобразования.

Исследованиями доказано, что местные условия играют роль не только пускового механизма процессов адаптации, но и определяют продолжительность его отдельных фаз. Состояние кровообращения в зоне перелома является одним из основных факторов, определяющих течение репаративного процесса.

Внешняя стабильная фиксация благотворно влияет на остеорепарацию и местное кровообращение. При исследовании основных показателей иммунного ответа выяснили, что при переломах костей происходит угнетение иммунной системы - вторичный иммунодефицит, или дисбаланс.

Нормализация показателей иммунного ответа происходит при формировании костной мозоли. При изучении иммунологической картины репаративного остеогенеза установлено, что он характеризуется сдвигом гомеостаза, а именно: 1-7 сутки – иммунный дисбаланс, 7-28 – иммуноморфологическая перестройка, как ответ организма на травму. Нормализация структурных и функциональных показателей происходит в интервале между 28 и 42 сутками.

Клеточная стабилизация (восстановление микроциркуляции) наблюдается с 42 суток после травмы.

Это дало основание рассматривать перелом не только как местный патологический процесс, но и как совокупность местных и общих патологических и приспособительных реакций организма под воздействием случайных и патологических травм различной локализации и степени тяжести.

Для обоснования ценности сонографической навигации и применения сонографического контроля с биохимическим маркером при оценке костной репарации нами было выбрано 39 человек из первой группы исследования, которым применялся рентгенологический и сонографический метод контроля, из которых сформировано две группы, первая группа пациентов с нормальной консолидацией костных отломков (20 человек) и вторая группа пациентов с замедленной консолидацией (19 человек).

Установлено, что ферментативная активность (тимидинфосфоорилазная) тромбоцитарного фактора роста (PDGF) статистически значимо отличается в двух группах пациентов. Так на 7-ой день (Рисунок 5.1) и через месяц (Рисунок 5.2) после травмы ферментативная активность PDGF была значительно выше в группе пациентов с нормальной консолидацией по сравнению с пациентами, у которых она была замедлена.

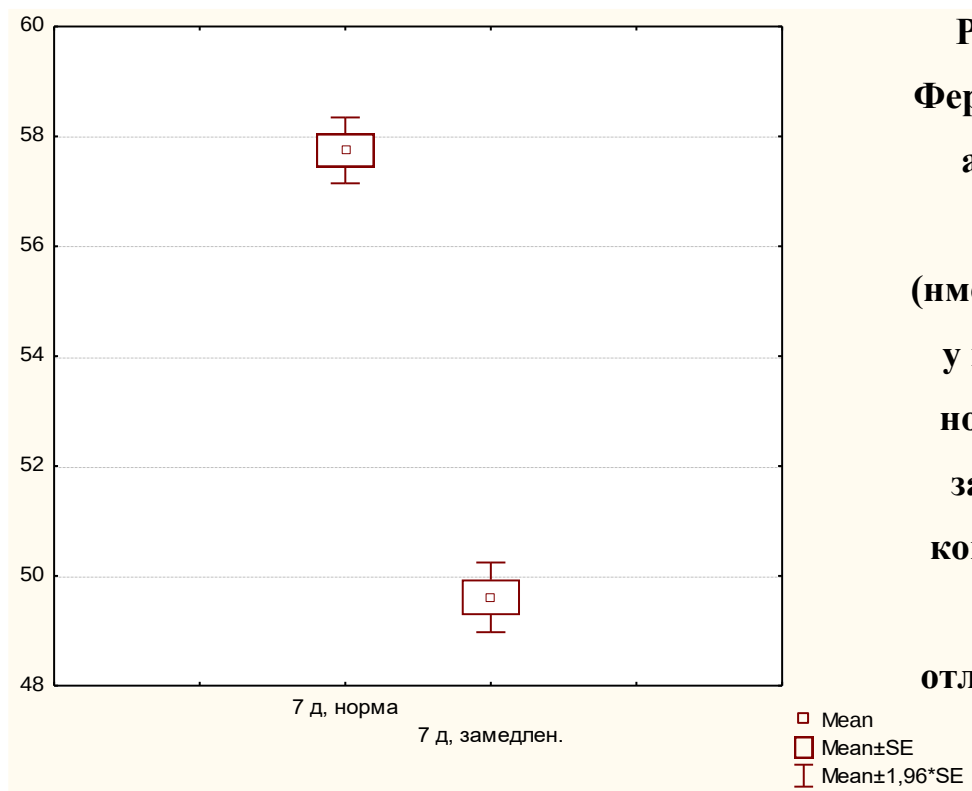


Рисунок 5.1.
Ферментативная
активность
PDGF
(нмоль/(мин*мг))
у пациентов с
нормальной и
замедленной
консолидацией
костных
отломков 7 день

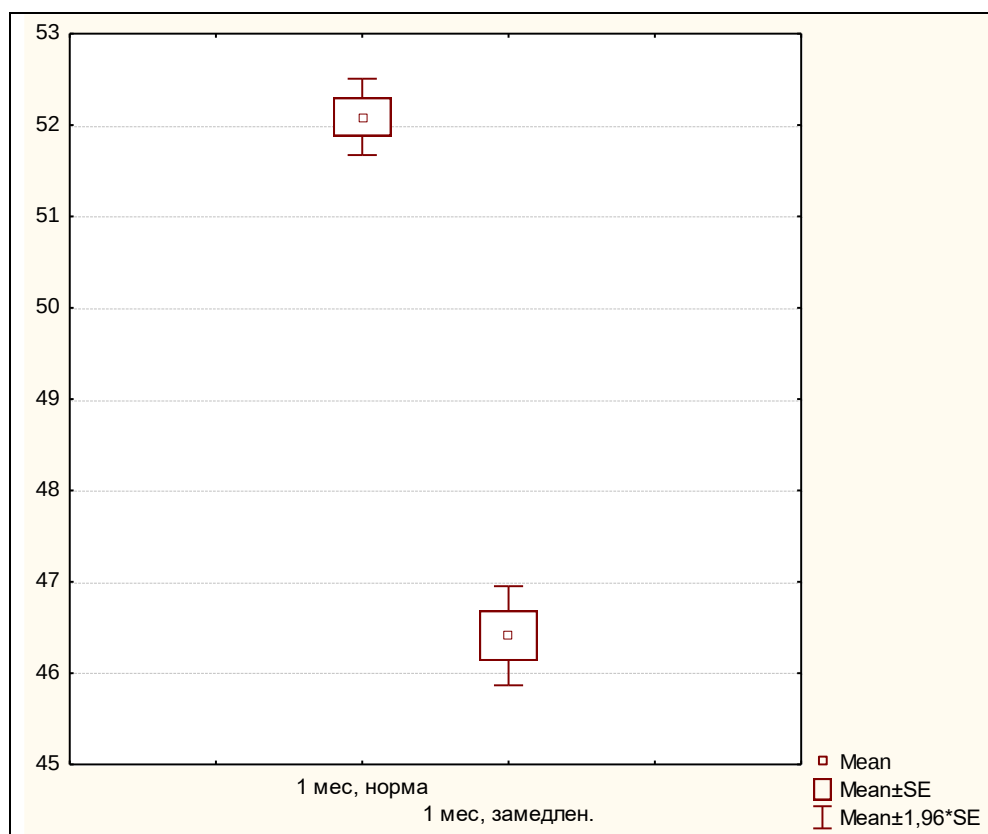


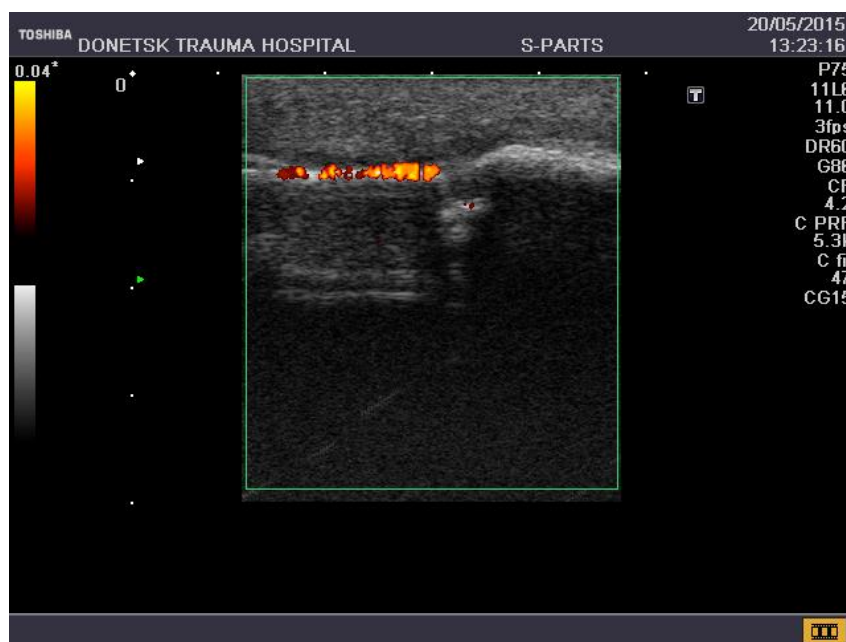
Рисунок 5.2.
Ферментативная
активность
PDGF
(нмоль/(мин*мг))
у пациентов с
нормальной и
замедленной
консолидацией
костных
отломков 1
месяц

Тимидинфосфорилазная активность PDGF на 7-ой день после травмы в норме выше на 15 % ($57,7 \pm 0,97$ нмоль/(мин*мг)), чем у пациентов с измененной консолидацией (соответственно $49,06 \pm 1,02$ нмоль/(мин*мг)), при $p \leq 0,001$. Через месяц данный показатель логично снижается ($p \leq 0,001$), но в норме на 11% ($52,1 \pm 0,68$ нмоль/(мин*мг)) выше, чем при измененной консолидации ($46,4 \pm 0,87$ нмоль/(мин*мг)). При этом при проведении сонографического исследования у пациентов с измененной консолидацией на 14-е сутки установили отсутствие признаков периостального кровотока в зоне перелома, тогда как в норме он был различной интенсивности (Рисунки 5.3 и 5.4).

Рисунок 5.3. Сонографическая картина зоны перелома у пациентов на 14-ый день после репозиции костных отломков. Замедленная консолидация (отсутствие периостального кровотока в зоне перелома)



Рисунок 5.4. Сонографическая картина зоны перелома у пациентов на 14-ый день после репозиции костных отломков. Нормальная консолидация (стрелкой указан интенсивный периостальный кровоток)



После репозиции оценивали признаки сращения переломов на 21-25 сутки с помощью сонографического метода по гиперэхогенным мостовидным включениям в зоне консолидации, тогда как рентгенографическая оценка представлялась возможной только на 30-е сутки, когда появлялись мостовидные тени. При сопоставлении рентгенографических и сонографических данных признаков консолидации не установлено статистически значимой разницы между данными видами исследования $r=0,0106$ при $p=0,950$. При проведении сонографического контроля консолидации зоны перелома на 30-е сутки стационарного лечения у пациентов с нормальной консолидацией нами было отмечено замедление периостального кровотока, что согласуется с полученными данными по ферментативной активности PDGF. Ферментативная активность PDGF в норме была максимально высокой на 7-ой день стационарного лечения, а к концу первого месяца после репозиции

костных отломков она снижалась. При нормальной консолидации на 30-е сутки стационарного лечения после репозиции костных отломков визуализируется нормальный процесс остеогенеза - формирование костных балок. Тогда как при замедлении консолидации остеогенез нарушен – костные балки в зоне регенерата при проведении сонографического исследования отсутствуют (Рисунок 5.5 А,Б).

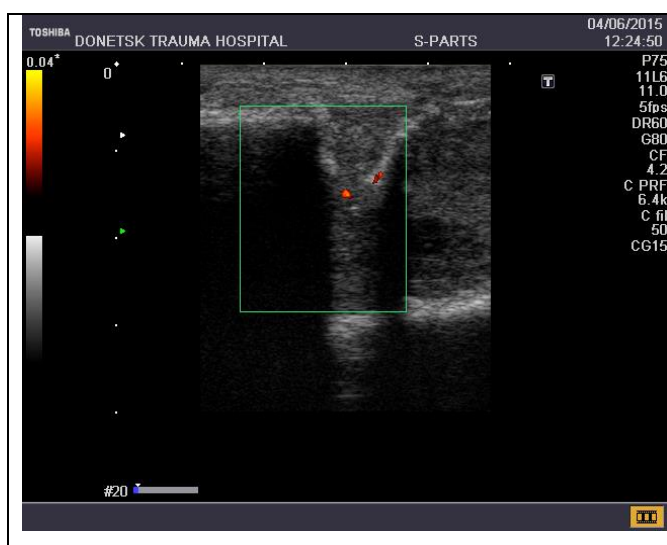


Рисунок 5.5. (А)
Сонографическая картина
зоны перелома у пациентов на
30-ый день после репозиции
костных отломков
Нормальная консолидация
(стрелкой указано замедление
периостального кровотока,
появление костных балок в
зоне регенерата

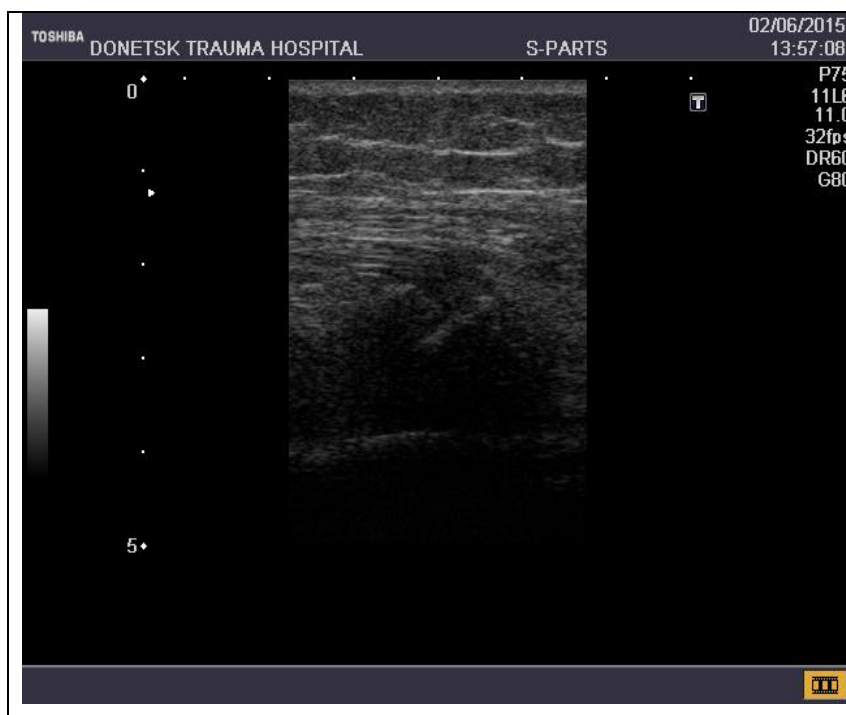


Рисунок 5.5. (Б)
Сонографическая
картина зоны
перелома у
пациентов на 30-
ый день после
репозиции
костных
отломков.
Замедленная
консолидация
(стрелкой
указано
отсутствие
костных балок в
зоне регенерата)

При измерении ферментативной активности PDGF через 3 и 6 месяцев она становится ниже, однако остается статистически значимое отличие группы пациентов с нормальной и с замедленной консолидацией костных отломков (Рисунок 5.6).

Так у пациентов с нормальной консолидацией ферментативная активность PDGF через 3 месяца составила $45,9 \pm 1,26$ нмоль/(мин*мг), тогда как у пациентов с измененной консолидацией $44,2 \pm 0,92$ нмоль/(мин*мг), при $p=0,002$.

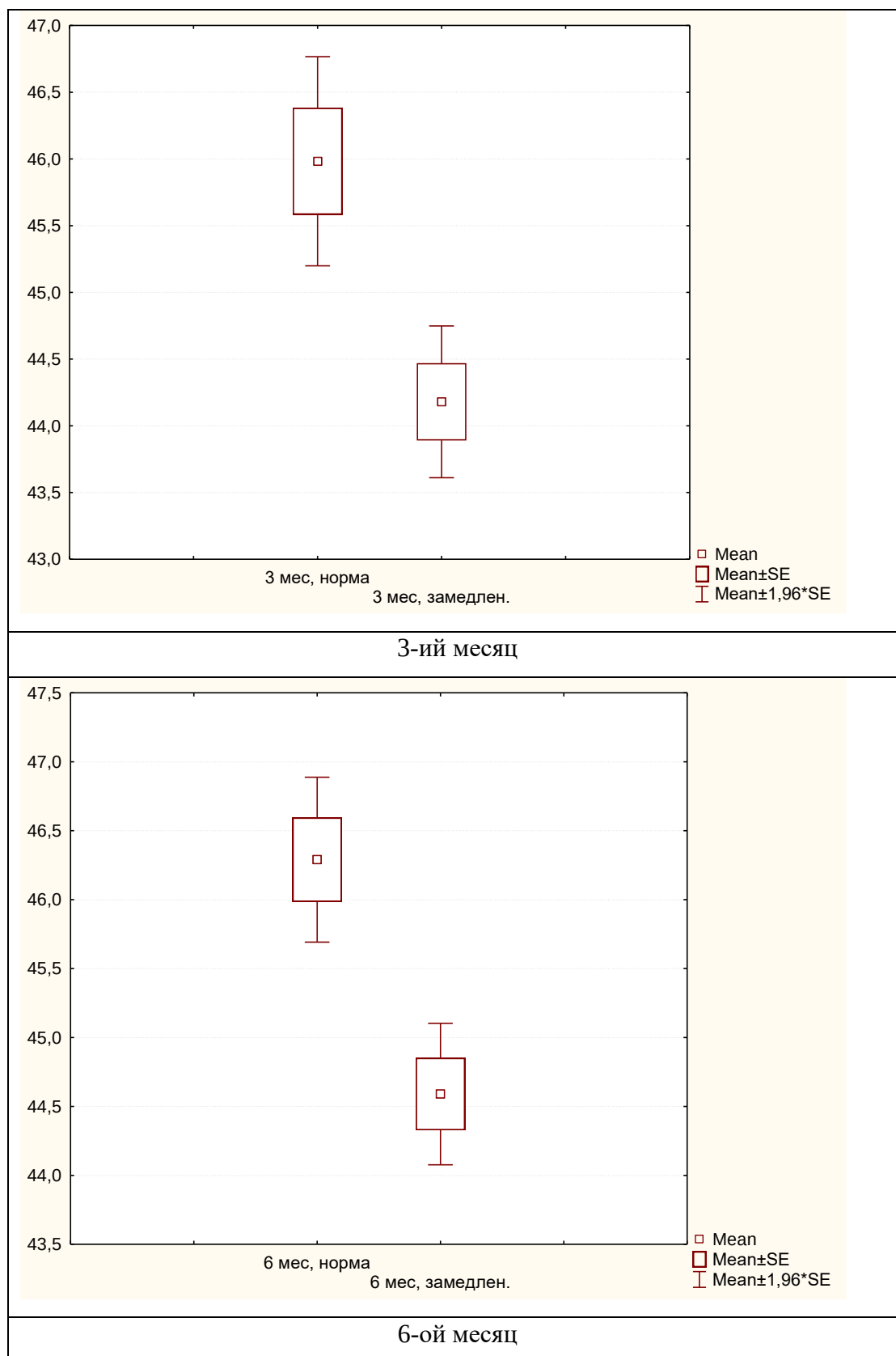
Статистически значимое отличие для двух изученных групп установлено и через 6 месяцев ($p \leq 0,001$): в норме ферментативная активность PDGF $46,3 \pm 0,96$ нмоль/(мин*мг), при измененной консолидации костных отломков $44,6 \pm 0,83$ нмоль/(мин*мг).

Снижение ферментативной активности PDGF в группе пациентов с измененной консолидацией через 3 и 6 месяцев отражает процесс, который обусловлен конституционными особенностями пациента и не является ответом на повреждение.

Установленное нами статистически значимое отличие свидетельствует о возможной причине измененной консолидации.

Низкая экспрессия PDGF и низкий уровень данного фактора в сыворотке крови и установленная в исследовании низкая ферментативная активность является патогенетическим фактором замедленной консолидации костных отломков при переломах.

Рисунок 5.6. Ферментативная активность PDGF (нмоль/(мин*мг)) у пациентов с нормальной и замедленной консолидацией костных отломков.



Сонографический контроль репозиции костных отломков проводили через два месяца (Рисунок 5.7 А,Б). Установили, что у пациентов, которые имели более низкую ферментативную активность PDGF в разные сроки после репозиции костных отломков происходит неадекватное формирование костной мозоли в межотломковой зоне.

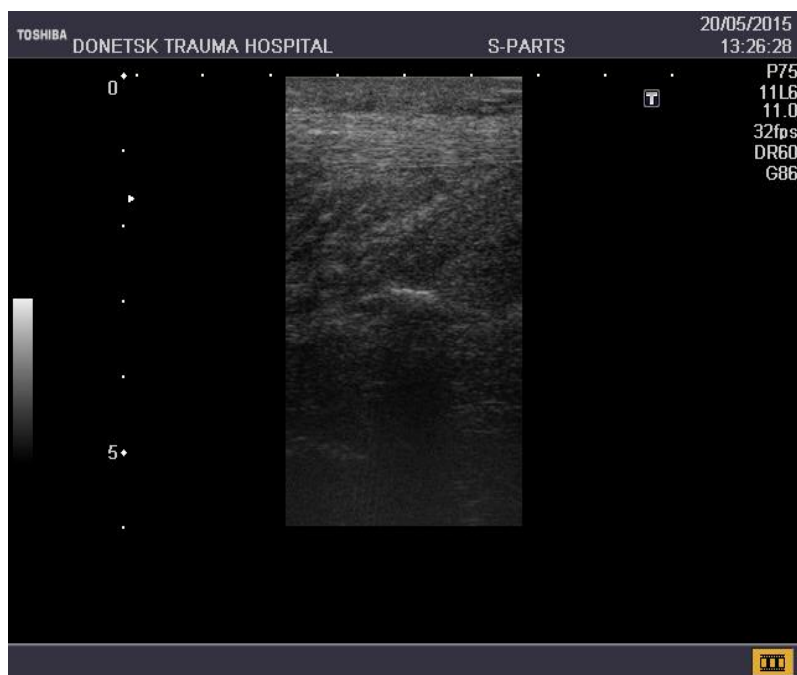


Рисунок 5.7. (А)
Сонографическая картина зоны перелома у пациентов на 60-ый день после репозиции костных отломков. Нормальная консолидация (стрелкой указано формирование периостальной мозоли в межотломковой зоне)

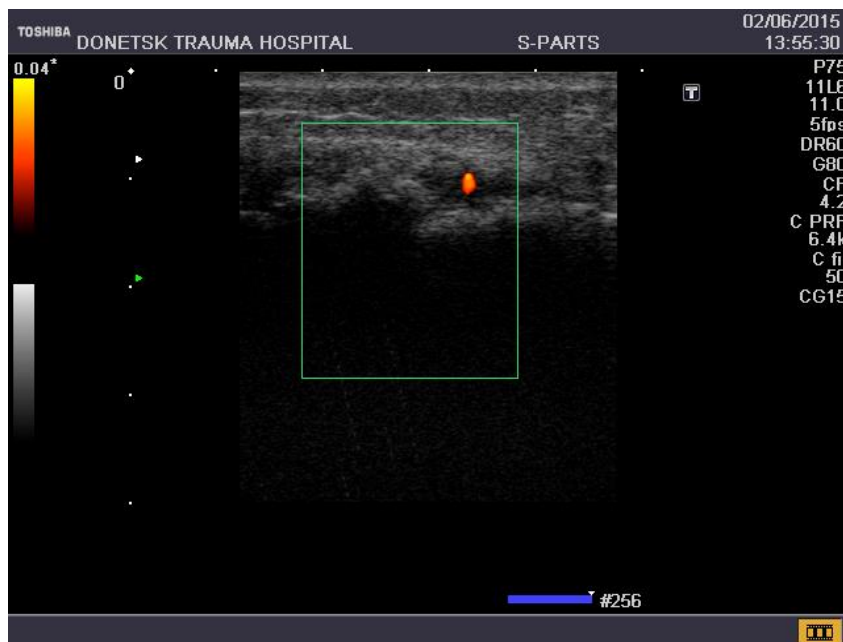


Рисунок 5.7. (Б)
Сонографическая картина зоны перелома у пациентов на 60-ый день после репозиции костных отломков. Замедленная консолидация (стрелкой указано различной акустической плотности включения, вероятное формирование гипертрофического псевдартроза)

У 39 (100%) обследованных нами пациентов замедление консолидации костных отломков коррелирует со снижением ферментативной активности PDGF. Установили, что максимальное повышение изучаемого показателя в норме на 7-е сутки после травмы. Экспрессия PDGF в норме максимальна на первой неделе после репозиции костных отломков. Однако ферментативная активность PDGF в отличие от самого фактора роста отличается и через 3, и через 6 месяцев после травмы. Незначительно, но статистически значимо сниженная ферментативная активность PDGF на более поздних сроках скорее отражает конституциональную предрасположенность к замедленной консолидации. Полученный нами результат относит лиц со сниженной ферментативной активностью PDGF в группу риска. Тимидинфосфорилазная активность PDGF вовлечена в метаболический путь регенерации – реутилизацию субстратов для синтеза нуклеотидов. Интенсификация ферментативной активности PDGF отражает не столько активацию ангиогенеза, который является приоритетным звеном для первой фазы, сколько показывает скорость пролиферации клеток регенерата, что мы подтверждаем сонографической визуализацией.

Доказано, что на 7-е сутки после репозиции костных отломков у пациентов с замедленной консолидацией статистически значимо ниже уровень ферментативной активности PDGF, что на 14-е сутки проявляется в виде замедленной васкуляризации зоны регенерата.

Через 30 дней ферментативная активность PDGF в норме становится ниже и происходит замедление кровотока в зоне регенерата, формируются костные балки, а через 2 месяца образуется костная мозоль, через 3 - ферментативная активность PDGF возвращается к конституциональному уровню.

Уровень активности ТФ значительно отличается как через 7 дней, так и через 6 месяцев, что явно и влияет на консолидацию независимо от ее срока.

Литературные данные отображают информацию по изменению уровня цитокинов (TGF-ss1, PDGF-AB и IGF-1) в периферической крови у больных как с нормальной консолидацией костных отломков, так и с измененной.

Немецкими авторами показано, что при измененной консолидации уровень PDGF-AB статистически значимо снижен на 1-ой и 2-ой неделях после репозиции костных отломков, тогда как на более поздних сроках статистически значимой разницы не установлено [127].

Однако при этом не изучалась ТФ активность данного белка в различные сроки костной регенерации.

Нами же было проведено сравнение снижения уровня PDGF-AB и активности ТФ при изменой консолидации на различных сроках (Таблица 5.1).

Таблица 5.1. Сравнительная характеристика снижения уровня PDGF-AB и активности ТФ при замедленной консолидации на различных сроках

Срок консолидации перелома	Активность ТФ, % снижения по сравнению с нормальной консолидацией	Уровень PDGF-AB (Fischer C.,2016), % снижения по сравнению с нормальной консолидацией
7 день	14	17
1 месяц	11	13
3 месяца	2	нет статистически значимой разницы
6 месяцев	3	нет статистически значимой разницы

В нашем диссертационном исследовании количество переломов сегментов конечностей анатомически включающих в себя область крупных суставов составило 157 повреждений.

Особенности морфологии повреждений вышеуказанных сегментов являются одной из причин развития посттравматических дегенеративно-дистрофических изменений, которые неразрывно связаны с болевым синдром и ухудшением качества жизни пациентов, что потребовало дополнительного изучения взаимосвязи ТФ- PDGF как маркера нормальной консолидации костных отломков и как прогностического маркера эффективной терапии сращения в ортопедо-травматологической практике. С этой целью из общего числа наблюдений нами было сформировано 2 группы пациентов (59 человек). В группу исследования входили мужчины и женщины, которые получали PRP- терапию в течение одного месяца по 3 инъекции, в место перелома, в период стационарного лечения. Возраст больных варьировал от 36 до 72 лет. Замедленное сращение было диагностировано при помощи сонографического метода исследования.

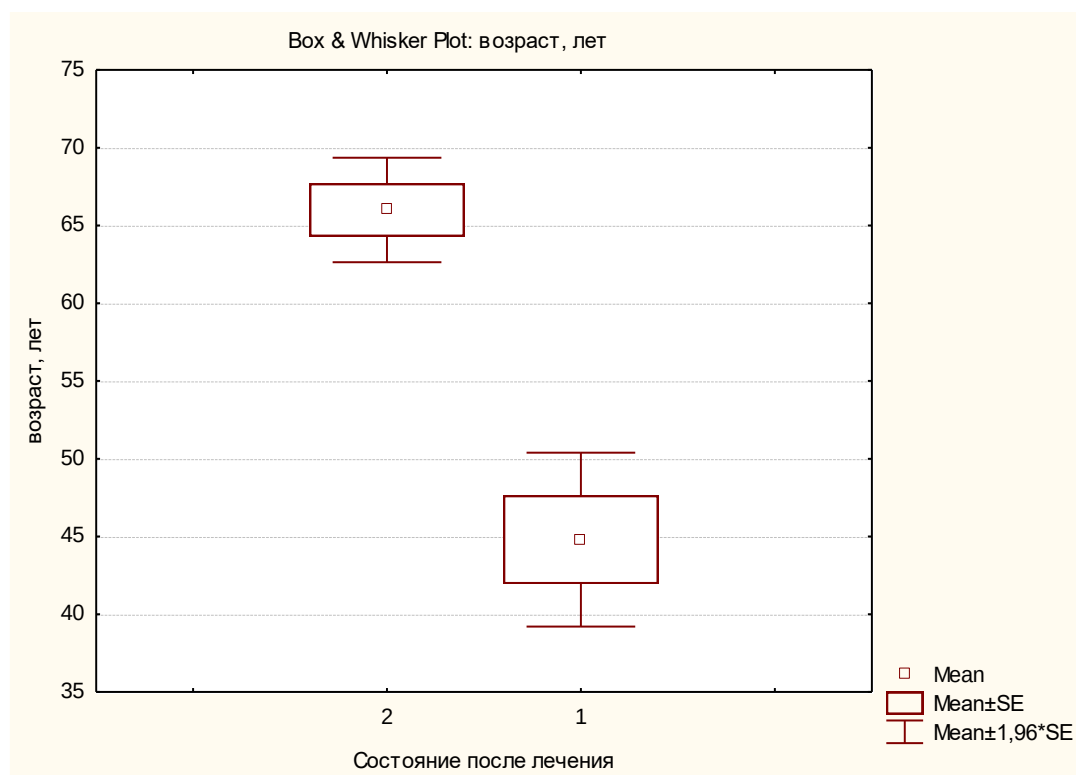
Для сравнения динамики процессов остеорепарации всех больных разделили на две группы: 1 группа - больные, которые получали PRP-терапию (31 человек), 2 группа – лечение которых не предусматривало PRP-терапию (28 человек).

Первоначально всем пациентам определяли концентрацию тромбоцитов, тромбоцит, средний объем тромбоцитов, относительную ширину распределения тромбоцитов по объему, общий кальций крови, мочевую кислоту в сыворотке крови. Уровень ферментативной активности оценивали PDGF – тимидинфосфорилазной (ТФ) исследовался у пациентов 1 группы.

Установили, что изучаемые группы пациентов статистически значимо отличались между собой по возрасту. Так пациенты второй

группы оказались старше и их возраст составил $66 \pm 4,19$ лет, тогда как в первой исследуемой группе возраст пациентов был ниже и составил $44,8 \pm 6,38$ лет (при $p=0,382$) (Рисунок 5.8).

Рисунок 5.8. Распределение исследуемых групп по возрасту

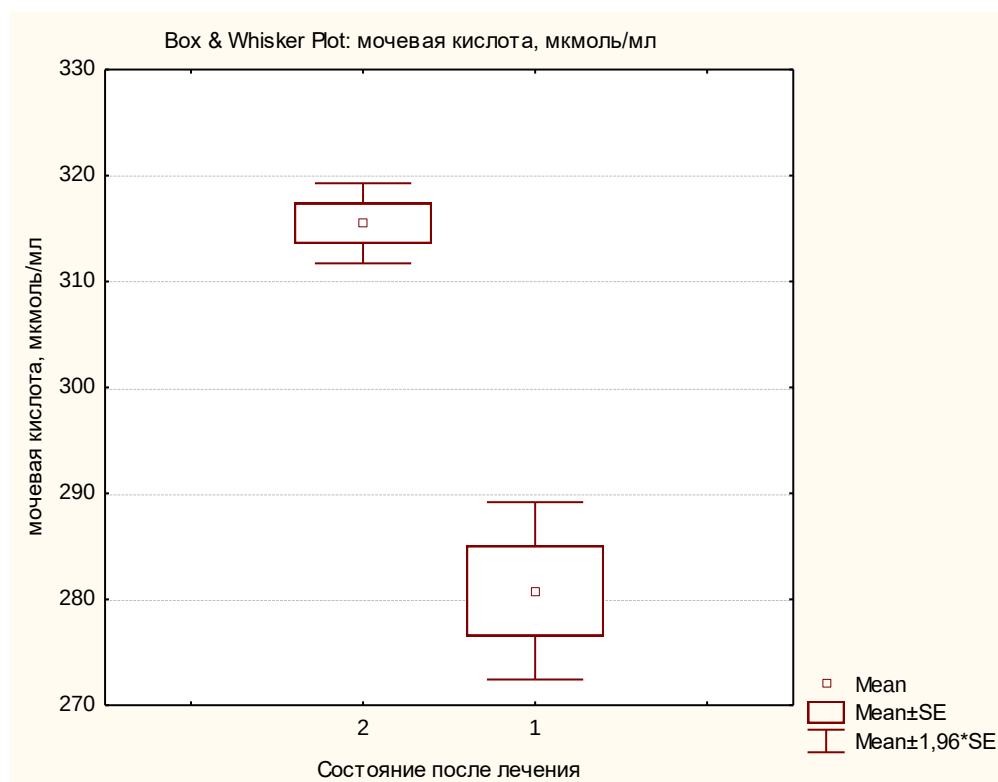


Второй параметр, который достоверно отличал исследуемые группы между собой – это уровень мочевой кислоты в сыворотке крови до проведения PRP-терапии (Рисунок 5.9).

Так у пациентов второй исследуемой группы, уровень мочевой кислоты был исходно выше и составлял $306 \pm 5,68$ мкмоль/мл, по сравнению с первой группой пациентов, соответственно $283 \pm 10,6$ мкмоль/мл ($p=0,257$). При этом следует отметить, что у данной когорты пациентов не был верифицирован подагрический артрит и уровень мочевой кислоты не был выше референтного значения. В рекомендациях к проведению PRP-терапии отмечено, что не следует ее проводить пациентам с гиперурикемией. Мочевая кислота в большей степени

индуцирует синтез коллагена I типа и интерлейкина, который вовлечен в ангиогенез, соответственно последний обеспечивал улучшение остерапарации.

Рисунок 5.9. Исходный уровень мочевой кислоты в сыворотке крови исследуемых групп больных



При сравнении исходной концентрации тромбоцитов в обеих изученных группах пациентов, статистически значимого различия не установлено. У больных второй исследуемой группы уровень тромбоцитов был $309 \pm 6,17 \cdot 10^9/\text{л}$, тогда как в группе с высоким ответом на PRP терапию уровень тромбоцитов был ниже $280 \pm 36,5 \cdot 10^9/\text{л}$ ($p=0,0015$). Нами не установлено статистически значимой разницы для среднего объема тромбоцитов, тромбокрита и относительной ширины распределения тромбоцитов по объему для исследуемых групп пациентов. Также нет статистически значимой разницы для концентрации кальция в сыворотке крови между группой 1 и группой 2 (Таблица 5.2).

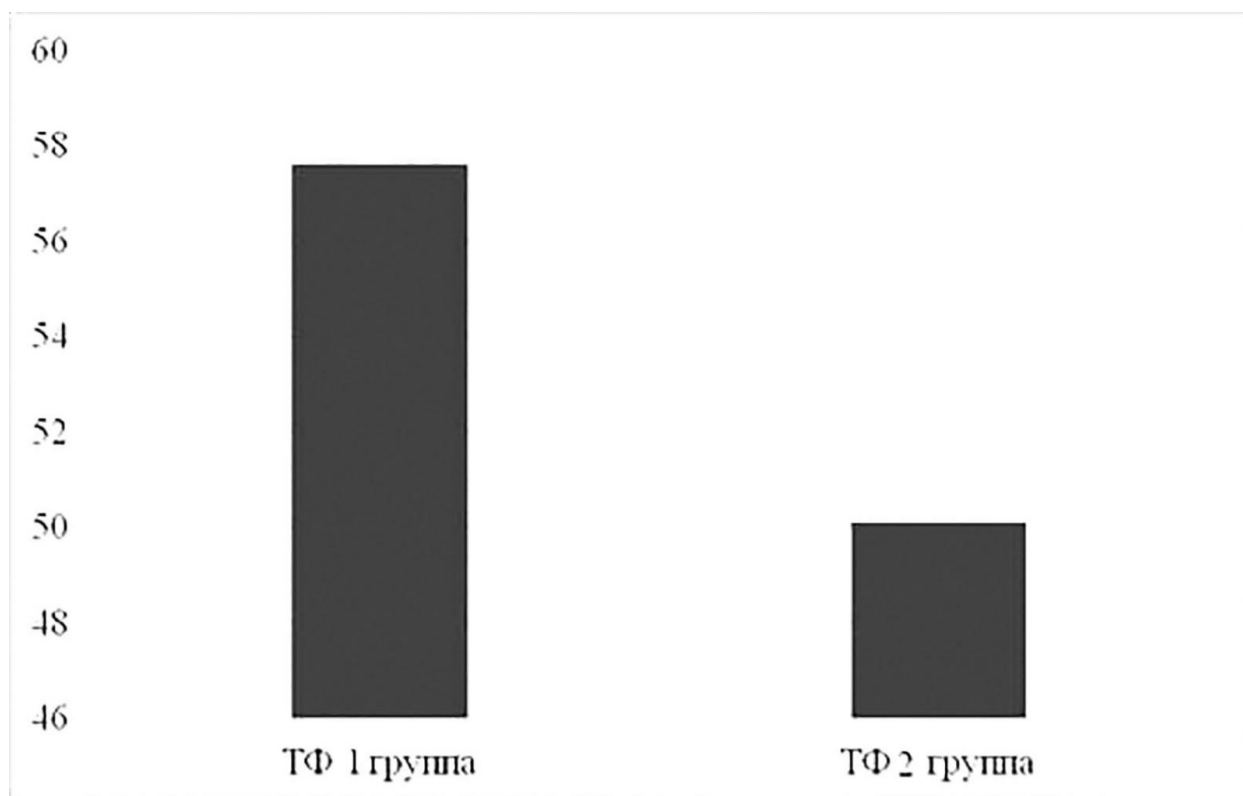
**Таблица 5.2. Т-тест по группам (группирующая величина:
применение/не применение PRP- терапии)**

Показатель	Группа 2	Группа 1	p
Тромбоциты, 10*9/л	309±6,17	280±36,5	0,0015
Средний объем тромбоцитов, мл	12,3±0,762	11,5±1,27	0,292
Тромбокрит, %	0,351±0,0147	0,301±0,069	0,001
Относительная ширина распределения тромбоцитов по объему, %	13,1±4,72	14,3±2,58	0,001
Кальций общий, ммоль/мл	2,38±0,059	2,41±0,085	0,453

При определении исходной ферментативной активности PDGF в сыворотке крови установлено, что он статистически значимо отличался для двух исследуемых групп. Так в первой группе ферментативная активность PDGF в сыворотке крови изначально была выше ($57,6 \pm 1,16$ нмоль/(мин*мг)), чем во второй исследуемой группе ($50,1 \pm 0,781$ нмоль/(мин*мг)) (Рисунок 5.10).

Проводя изучение ферментативной активности PDGF до проведения PRP-терапии, мы не исключаем дополнительное положительное влияние самой терапии на индукцию экспрессии ангиогенных факторов путем активации синтеза фактора роста эндотелия сосудов. Мы данный фактор роста, а точнее его ферментативную активность хотели бы использовать как маркер при прогнозировании эффективности в комплексной диагностике и терапии замедленной консолидации.

Рисунок 5.10. Ось у - ферментативная активность PDGF в сыворотке крови исследуемых групп пациентов, нмоль/(мин*мг) до проведения PRP-терапии



Следует отметить, что при проведении корреляционного анализа между уровнем исходной ферментативной активности PDGF в сыворотке крови и исходным уровнем мочевой кислоты установлено, что существует тесная прямая взаимосвязь $r=0,90$ (при $p \leq 0,0001$) между изученными показателями. Чем выше уровень мочевой кислоты в сыворотке крови, тем выше ферментативная активность PDGF. Что вполне логично, так как мочевая кислота продукт катаболизма пуриновых нуклеотидов, а ферментативная активность PDGF вовлечена в катаболизм пиримидиновых нуклеотидов.

Нами также установлено, что показатель тромбокрита статистически значимо связан с уровнем мочевой кислоты в сыворотке

крови $r=0,69$ (при $p=0,019$), а средний объем тромбоцитов зависит от концентрации сывороточного кальция $r=0,68$ (при $p\leq 0,020$).

Результаты предложенной терапии в 2 группах пациентов мы оценивали по визуальным сонографическим критериям остеорепаляции (Таблица 5.3).

Таблица 5.3. Визуальные сонографические критерии остеорепаляции

Сонографические критерии остеорепаляции	1 группа (n=31)	2 группа (n=28)
Визуализация сосудов надкостницы при доплеровском исследовании	+	-
Наличие костной мозоли в зоне перелома	+	-
Наличие интерпозиции мягких тканей	-	-

Таким образом, установлена эффективность проведения PRP-терапии при лечении замедленной консолидации зависит, но следует учитывать исходную концентрацию мочевой кислоты в сыворотке крови и ферментативную активность PDGF в сыворотке крови. Данные биохимические критерии также могут быть использованы в прогнозе замедленной остеопарии, как возможного фактора дегенеративно-дистрофических изменений в костной ткани организма человека.

ВЫВОДЫ

1. Анализ 4851 статьи из платформы PubMed с помощью программных пакетов EndNote (Clarivate Analytics) сократило количество полнотекстовых статей для информационного исследования до 26, которые были подвергнуты качественному и количественному анализу по теме работы и обеспечило результаты, которые показывали неэффективность эталонных рентгенологических методов исследования, что было связано с человеческим фактором – ошибками локализации повреждений, неправильно выбранной проекции снимков и не достаточным по объему сонографическим исследованием. Ферментативная активность PDGF в сыворотке крови и концентрация мочево́й кислоты в сыворотке крови тесно и положительно взаимосвязаны $r=0,90$ (при $p \leq 0,0001$). Также существует прямая статистически значимая связь между возрастом и ферментативной активностью PDGF в сыворотке крови $r=0,93$ (при $p \leq 0,0001$), а также возрастом и уровнем мочево́й кислоты в сыворотке крови $r=0,82$ (при $p=0,002$). Установлено, что показатель тромбокрит статистически значимо связан с уровнем мочево́й кислоты в сыворотке крови $r=0,69$ (при $p=0,019$), а средний объем тромбоцитов зависит от концентрации сывороточного кальция $r=0,68$ (при $p \leq 0,020$).

2. Доказана информационно-диагностическая ценность и хорошая переносимость (100 % - обследованных больных) ультразвукового исследования для травмы крупных сегментов (75-100 % – при переломах бедра и надколенника), она несколько снижается до 93 % при диагностике переломов пястных костей, а 87-100 % - при переломах стопы и голеностопного сустава. Для костей запястья, учитывая особенности

метода, чувствительность очень низкая – 42 %, соответственно метод не применим для диагностики этой патологии.

3. Разработан алгоритм сонографического исследования в диагностике и лечении повреждений опорно-двигательного аппарата, позволяющий с учетом качественных критериев информативности метода для диагностики наличия перелома, типа и угла перелома, а в последующем использовать и для контроля консолидации поврежденных костных фрагментов на всех этапах стабилизации и лечения повреждений.

4. Использование ультразвукового метода для оценки смещения костных отломков до операции и интраоперационно в сагиттальной проекции статистически значимо не отличается от смещения костных отломков во фронтальной проекции, исключением является разница для угловых отклонений проксимальных и дистальных костных фрагментов интраоперационно (при $p=0,0001$), это контролировалось рентгеновским методом и соответственно демонстрирует возможность замены одного метода другим. Сонографический метод доказывает, что статистически значимые различия между показателями смещения костных отломков и угловыми отклонениями проксимальных и дистальных костных фрагментов отсутствуют для всех сопоставленных пар наблюдения, кроме фронтальной плоскости до - и интраоперационно (при $p=0,0001$). Рентгеновский метод позволил отредактировать фронтальное стояние отломков при фиксации стержневым аппаратом $2,33 \pm 0,516$ мм, а при спице-стержневой фиксации (соответственно $3,38 \pm 1,18$ мм, при $p=0,042$).

5. Многоэтапное хирургическое лечение переломов длинных костей конечности с применением сонографической визуализации облегчает адекватную оценку зоны консолидации перелома, диагностику наличия интерпозиции окружающих кость тканей, позволяет оценить угловую девиацию костных отломков. При использовании ультразвукового исследования возможна корректная, измеряемая и прямая оценка (не по

косвенным признакам) процесса формирования костного регенерата на 7-е и 30-е сутки после наложения аппарата внешней фиксации. При сопоставлении рентгенографических и сонографических данных признаков консолидации не установлено статистически значимой разницы между данными видами исследования $r=0,0106$ при $p=0,950$. Сонографическая картина нарушенного остеогенеза статистически значимо и прямо коррелирует с ферментативной активностью PDGF в сыворотке у пациентов с переломами длинных костей конечностей. На 7-е сутки после репозиции костных отломков у пациентов с замедленной консолидацией статистически значимо ниже уровень ферментативной активности PDGF, что на 14-е сутки сонографически визуализируется в виде замедленной васкуляризации зоны регенерата. Через 30 дней ферментативная активность PDGF в норме становится ниже и в норме через 30 дней сонографически мы регистрировали замедление кровотока в зоне регенерата и формирование костных балок. При нормальной консолидации костных отломков через два месяца сонографически визуализируется костная мозоль, а через три месяца ферментативная активность PDGF возвращается к конституциональному уровню.

Доказано увеличение тимидинфосфорилазной активности тромбоцитарного фактора роста в течение первого месяца при нормальной консолидации костных отломков длинных костей. Это объяснимо, так как ускорение нуклеотидного обмена и увеличение анаболизма в целом являются биохимической основой регенерации. Сниженная тимидинфосфорилазная активность тромбоцитарного фактора роста при замедленной консолидации на 3-ий и 6-ой месяцы после репозиции указывает на более низкий конституциональный уровень этого фермента. После острой травмы снижение конституциональной и индуцибельной тимидинфосфорилазной активности тромбоцитарного фактора роста является причиной замедленной консолидации переломов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При достаточной материально-технической базе, отделения травматологии целесообразно оборудовать аппаратами ультразвуковой диагностики для диагностики расположения отломков поврежденной кости и для диагностики состояния окружающих тканей, наличия их интерпозиции, так как метод легко переносится больными и сравним с эталонным рентгенологическим методом.

2. Возможность использования сонографического метода интраоперационно для навигации и контроля за репозицией костных фрагментов является малоинвазивным и доступным методом, который используя при закрытом наложении костных фиксаторов, позволит правильно оценить возможности адекватного сопоставления, стабилизации и наличия интерпозиции окружающих кость тканей между фрагментами.

3. Использование разработанного алгоритма сонографической диагностики повреждений опорно-двигательного аппарата позволяет с учетом качественных критериев информативности ультразвукового метода для оценки наличия перелома, типа и угла перелома, а при исследовании во времени поврежденного сегмента использовать доплеровскую шкалу для контроля консолидации поврежденных костных фрагментов на всех этапах стабилизации и лечения.

Лечение переломов длинных костей конечности с использованием внешней фиксации под контролем сонографической навигации позволяет оценить возможность консолидации перелома. С помощью ультразвукового метода исследования возможна измеряемая, прямая оценка процесса формирования костного регенерата между отломками на 7-е и 30-е сутки после наложения аппарата внешней фиксации.

Ультразвуковое исследование зоны сращения статистически значимо и прямо коррелирует с ферментативной активностью PDGF. Поэтому ультразвуковое исследование зоны репарации и оценка уровня ферментативной активности сыворотки плазмы на PDGF являются маркерами остеорепаляции длинных костей конечностей. При нормальной консолидации костных отломков через два месяца сонографически визуализируется костная мозоль, а через три месяца ферментативная активность PDGF возвращается к конституциональному уровню. Повреждения мелких и плоских костей необходимо исследовать отдельно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акрамова, Н. А. Сонография в диагностике переломов костей челюстно-лицевой области [Текст] / Н. А. Акрамова, Ю. М. Ходжибекова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2017. – Т. 62, № 4. – С. 24–30.
2. Анализ регенеративного процесса в области перелома большеберцовой кости (экспериментальное исследование) [Текст] / И. Ф. Ахтямов [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2016. – Т. 22, № 1. – С. 100–107.
3. Анализ результатов инструментальных исследований у женщин при остеопорозе и остеоартрозе [Текст] / У. М. Рустамова [и др.] // Гений ортопедии. – 2015. – № 4. – С. 73-75.
4. Брюханов, А. В. Комплексное применение лучевых методов диагностики при обследовании больных с травматическими повреждениями коленных суставов [Текст] / А. В. Брюханов, М. А. Клыжин // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. – 2008. – Vol. 23, № 2. – С. 20–24.
5. Велитова, Д. А. Биологическая безопасность диагностической сонографии [Текст] / Д. А. Велитова // Белые цветы – 2020 : сборник тезисов VII Международного молодежного научно-медицинский форума, посв.100-летию со дня образования ТАССР, 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Казань, 2020. – С. 395–396.
6. Власова, И. В. Ультразвуковое исследование при политравме: проблемы, возможные ошибки [Текст] / И. В. Власова, Л. А. Акиншина, Т. А. Вострикова // Политравма. – 2013. – № 3. – С. 56–61.
7. Возможности комплексной ультразвуковой диагностики репаративного остеогенеза в норме при переломах длинных костей у детей [Текст] / К. В.

- Ватолин [и др.] // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии. – 2011. – № 11-2. – С. 1.
8. Выработка тактики оперативного лечения у пациента с переломом плечевой кости, осложненным повреждением лучевого нерва, на основе данных ультразвукового исследования (клинический пример) [Текст] / Ю. А. Боголюбский [и др.] // Современные подходы к диагностике и лечению травматологических и ортопедических больных : сборник тезисов научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Дагестанского государственного медицинского университета / ответственный редактор А. Р. Атаев. – Махачкала, 2018. – С. 47–49.
9. Гажонова, В. Е. Возможности ультразвукового исследования в диагностике послеоперационных осложнений при эндопротезировании тазобедренного сустава [Текст] / В. Е. Гажонова, В. П. Абельцев // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2016. – № 4. – С. 119–123.
10. Гайворонский, И. В. Возможности сонографических исследований вспомогательных элементов интактного коленного сустава [Текст] / И. В. Гайворонский, В. В. Хоминец, А. А. Семенов // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». – 2017. – № 4. – С. 103–107.
11. Галушко, Т. Г. Использование ультразвуковой сонографии в оценке структурных преобразований коленного сустава у юношей-футболистов [Текст] / Т. Г. Галушко, Л. А. Удочкина, Е. Б. Гринберг // Украинский морфологический альманах имени профессора В.Г. Ковешникова. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 37–41.
12. Гасымзаде, Г. Ш. Экстренная ультрасонография при травме [Текст] / Г. Ш. Гасымзаде // Вестник проблем биологии и медицины. – 2017. – Т. 3, № 4 (141). – С. 27–33.
13. Гребенюк, Л. А. Эхография как способ экспресс-оценки характера репаративной регенерации длинных трубчатых костей верхней конечности

при реконструктивно восстановительном лечении [Текст] / Л. А. Гребенюк, Э. А. Гореванов, Е. Б. Гребенюк. // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2005. – № 2. – С. 175.

14. Данные ультразвукового исследования верхнешейного отдела позвоночника при травмах у детей младшего возраста [Текст] / М. И. Спужак [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2011. – № 5. – С. 106.

15. Дьячкова, Г. В. Ультразвуковая диагностика повреждений менисков коленного сустава и оценка результатов артроскопии у пациентов различных возрастных групп [Текст] / Г. В. Дьячкова, А. Н. Бакарджиева // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2011. – № 5. – С. 100.

16. Значимость рентгенографических показателей для выявления анатомических изменений в плечелопаточном и акромиальном отделах у пациентов с субакромиальным импиджмент-синдромом и разрывами вращательной манжеты плеча [Текст] / В. Е. Гажонова [и др.] // Медицинская визуализация. – 2018. – № 3. – С. 98–107.

17. Зубарев, А. В. Ультразвуковая диагностика в травматологии. Практическое руководство [Текст] / А. В. Зубарев, В. Е. Гажонова, И. В. Долгова. – Москва : ООО «Фирма СТРОМ», 2003. – 176 с.

18. Зубарев, А. Р. Ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата у взрослых и детей [Текст] / А. Р. Зубарев, Н. А. Неменова. – Москва : Издательский дом Видар-М, 2006. – 136 с.

19. Зюзько, А. В. Ультразвуковая диагностика переломов длинных трубчатых костей у детей (обзор литературы) [Текст] / А. В. Зюзько, В. М. Никонов, А. А. Лукаш // Медицинская визуализация. – 2009. – № 5. – С. 53–59.

20. Использование контактного ультразвукового воздействия при лечении открытых переломов длинных трубчатых костей (экспериментальное исследование) [Текст] / Л. Б. Резник [и др.] // Сибирский научный медицинский журнал. – 2015. – Т. 35. № 6. – С. 5–10.

21. Использование контактного низкочастотного ультразвукового воздействия в условиях чрескостного остеосинтеза при лечении открытых переломов костей голени [Текст] / Л. Б. Резник [и др.] // Сибирский научный медицинский журнал. – 2016. – Т. 36, № 2. – С. 68–73.
22. Исследование особенностей консолидации контактного регенерата у больных с открытыми переломами костей голени (ультразвуковое исследование) [Текст] / Т. И. Менщикова [и др.] // Гений ортопедии. – 2010. – № 4. – С. 25–28.
23. Ключкина, Ю. А. Сонографическое исследование васкуляризации в зоне переломов трубчатых костей [Текст] / Ю. А. Ключкина // Казанский медицинский журнал. – 2002. – № 5. – С. 397–399.
24. Корж А.А., Логачев К.Д. Гетеротопические оссификации. Общие вопросы ортопедии и травматологии. Под редакцией проф. Новаченко Н.П., проф. Новожилова Д.А. М.: «Медицина» 1967 г. С. 496-515.
25. Кормилина, А. Р. Ультразвуковая эластография сдвиговой волны в оценке жёсткости костной мозоли [Текст] / А. Р. Кормилина, М. Г. Тухбатуллин // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 122–128.
26. Королёва, Н. Ю. Эхографическое исследование локтевого сустава у детей в норме и при травматических повреждениях. Литературный обзор [Текст] / Н. Ю. Королёва // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. – 2010. – vol. 1, 10. – С. 15–25.
27. Комплексное одноэтапное лечение несросшихся переломов, ложных суставов и дефектов длинных костей конечностей, осложненных остеомиелитом / З.И. Уразгильдеев, О.М. Бушуев, А.С. Роскидайло и [др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. - 2002. - № 4. - С. 33-38.
28. Кузьменко, Д. В. [Сопоставление рентгенографических и сонографических показателей углов отклонения костных отломков до](#)

- [операции и интраоперационно](#) [Текст] / Д. В. Кузьменко, Г. В. Лобанов, О. П. Шатова // [Травматология, ортопедия и военная медицина](#). – 2020. – № 1. – С. 47–52.
29. Кузьменко, Д. В. Сопоставление ферментативной активности тромбоцитарного фактора роста с сонографической картиной у больных с замедленной консолидацией костных отломков [Текст] / Д. В. Кузьменко, Г. В. Лобанов, О. П. Шатова // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2020. – Т. 29, № 2. – С. 154–158.
20. Кулик, Н. Г. Целесообразность применения ультразвуковой доплерографии при переломах проксимального отдела бедра [Текст] / Н. Г. Кулик, В. И. Котов, М. А. Козлов // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2016. – Спецвыпуск. – С. 49.
31. Лаврищева, Г. И. Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей [Текст] / Г. И. Лаврищева, Г. А. Оноприенко. – Москва : Медицина, 1996. – 208 с.
32. Литвишко, В. А. Формообразование периостального регенерата после диафизарного перелома по сравнительным данным ультрасонографии и рентгенографии [Текст] / В. А. Литвишко, О. К. Попсуйшапка // Травма. – 2017. – Т. 18, № 1. – С. 74–79.
33. Лобанов, Г. В. Интервенционная ультразвуковая диагностика в травматологии и ортопедии: история прогресса (обзор литературы) [Текст] / Г. В. Лобанов, Д. В. Кузьменко // Радиология - практика. – 2016. – № 3 (57). – С. 64–71.
34. Лобанов, Г. В. Ультразвуковая диагностика динамики остеорепарации при политравме [Текст] / Г. В. Лобанов, Д. В. Кузьменко, С. А. Бессмертный // Травма. – 2015. – Т. 16, № 4. – С. 94–97.
35. МакНелли, Юдж. Ультразвуковые исследования костно-мышечной системы: Практическое руководство [Текст] / Юдж. МакНелли ; пер. с англ.

- А. Н. Хитровой, под ред. Г. И. Назаренко, И. Б. Героевой. – Москва : Видар, 2007. – 400 с.
36. Марков Д.А. Стимуляция репаративного остеогенеза при лечении диафизарных переломов длинных костей : дис. ... канд. мед. наук : 14.00.22 / Д.А. Марков. - Саратов, 2008. - 133 с.
37. Марочко, Н. В. Эхография при хондральной травме коленного сустава у детей [Текст] / Н. В. Марочко, Н. Г. Жила // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2005. – № 3. – С. 117.
38. Марченкова, Н. О. Сонографічна діагностика дисплазії кульшових суглобів у дітей до 1 року [Текст] / Н. О. Марченкова // Здобутки клінічної і експериментальної медицини. – 2018. – N 1. – С. 101–103.
39. Махонич, О. М. Эхография в диагностике заболеваний ребер у детей [Текст] / О. М. Махонич, Н. В. Марочко // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2011. – № 5. – С. 101.
40. Меньщикова, Т. И. Исследование структурного состояния дистракционного регенерата при лечении больных с врожденной аномалией развития стопы методом чрескостного дистракционного остеосинтеза [Текст] / Т. И. Меньщикова, А. С. Неретин, Г. П. Иванов // Сибирский научный медицинский журнал. – 2017. – Т. 37, № 1. – С. 88–94.
41. Меньщикова, Т. И. Оценка активности репаративного остеогенеза дистракционного регенерата большеберцовой кости с помощью современных ультразвуковых сканеров [Текст] / Т. И. Меньщикова, А. М. Аранович // Гений Ортопедии. – 2011. – №. 4. – С. 101–105.
42. Меньщикова, Т. И. Ультразвуковая оценка структурного состояния дистракционного регенерата губчатой кости у больных с врожденной аномалией развития стопы [Текст] / Т. И. Меньщикова, А. С. Неретин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-10. – С. 1795–1799.

43. Методы лучевой диагностики при остром метаэпифизарном остеомиелите [Текст] / Г. Н. Румянцева [и др.] // Детская хирургия. – 2019. – Т. 23, № 1S3. – С. 56.
44. Митьков, В. В. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Общая ультразвуковая диагностика [Текст] / В. В. Митьков. – Москва : Видар, 2006. – 720 с.
45. Мошкин, А. С. Опыт ультразвуковой диагностики изменений структур грудной клетки в хирургической практике (краткое сообщение) [Текст] / А. С. Мошкин // Радиология - практика. – 2019. – № 1 (73). – С. 34–38.
46. Опыт внедрения технологии fast-abcde ургентной сонографии при оказании неотложной помощи больным с сочетанной травмой в стационарах разных уровней [Текст] / И. В. Лукьянченко [и др.] // Роль больниц скорой помощи и научно исследовательских институтов в снижении предотвратимой смертности среди населения : материалы 4-го съезда врачей неотложной медицины с международным участием. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 79–80.
47. Особенности регионарной гемодинамики при наkostном остеосинтезе диафизарных переломов костей голени [Текст] / В. В. Писарев [и др.] // Гений Ортопедии. – 2012. – №. 4. – С. 29–33.
48. Особенности формирования костной мозоли на фоне контактного низкочастотного ультразвукового воздействия в клинике и эксперименте [Текст] / Л. Б. Резник [и др.] // Политравма. – 2018. – № 2. – С. 87-92
49. Оценка значимости ультразвукового исследования у пациентов с остеоартрозом в реальной клинической практике [Текст] / Э. Р. Кириллова [и др.] // Остеопороз и остеопатии. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 105.
50. Оценка ишемического дистракционного регенерата при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектом длинных костей [Текст] / Т. И. Долганова [и др.] // Гений Ортопедии. – 2013. – №. 2. – С. 62–66.
51. Оценка состояния костной прочности у детей с латентной туберкулезной инфекцией методом количественной ультрасонометрии в амбулаторно-

поликлинических условиях [Текст] / Н. Ю. Крутикова [и др.] // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 122–126.

52. Панкратьев, А. А. Современные взгляды на роль ультразвуковой диагностики в комплексном обследовании при травмах коленного сустава [Текст] / А. А. Панкратьев, Ю. А. Провизион, Л. Д. Савенко // Морфологический альманах имени В.Г. Ковешникова. – 2019. – Т. 17, № 3. – С. 111–119.

53. Пасынков, Д. В. Сонография в современной лучевой диагностике переломов костей и контроле за их репарацией [Текст] : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.00.19 ; 14.00.22 : защищена 2003 г. / Пасынков Дмитрий Валерьевич; Казан. гос. мед. академия. – Москва, 2005. – 22 с.

54. Пену, А. Ю. Практическая эхография [Текст] : атлас / А. Ю. Пену. – Кишинев : Штиинца, 1990. – 288 с.

55. Прогнозирование и контроль течения дистракционного остеогенеза. Аналитический обзор [Текст] / А. М. Аранович [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 400–406.

56. Прошакова, М. А. Оптимальный алгоритм лучевой диагностики травм коленного сустава [Текст] / М. А. Прошакова // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2017. – Т. 7, № 6. – С. 1033.

57. Рустамова, Ум. Ультрасонографические исследования повреждений коленного сустава [Текст] / Ум. Рустамова // Вестник экстренной медицины. – 2016. – № 3. – С. 63–65.

8 Салтыкова, В. Г. Значение ультразвукового исследования плечевого сустава при острых травматических повреждениях [Текст] / В. Г. Салтыкова, В. В. Митьков, А. К. Орлецкий // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2003. – №2. – С. 97–107.

59. Сапожников, В. Г. О возможности эхографии опорно-двигательного аппарата у детей [Текст] / В. Г. Сапожников, Н. И. Сапожникова //

Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2005. – № 2. – С. 180.

60. Современные принципы обследования и лечения детей с переломами длинных костей, осложненными нарушением консолидации [Текст] / В. Н. Меркулов [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2006. – № 3. – С. 52–56.

61. Сокол, В. К. Оценка структурно-функционального состояния мышц бедра у больных с последствиями переломов бедренной кости по данным ультразвуковой диагностики [Текст] / В. К. Сокол // Морфология. – 2019. – Т. 13, № 1. – С. 57–61.

62. Технологии Fusion при исследовании мышечно-скелетной системы [Текст] / В. Е. Гажонова [и др.] // Медицинская визуализация. – 2016. – № 4. – С. 109–118.

63. Удочкина, Л. А. Комплексная оценка структур коленного сустава у юношей и мужчин первого периода зрелого возраста методом сонографии [Текст] / Л. А. Удочкина, Е. Б. Гринберг, Т. Г. Галушко // Журнал анатомии и гистопатологии. – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 78–83.

64. Ультразвуковая диагностика нормального течения репаративного процесса при переломах длинных трубчатых костей у детей [Текст] / Н. В. Сеницына [и др.] // Детская хирургия. – 2011. – № 3. – С. 15–18.

65. Ультразвуковая диагностика переломов длинных костей у детей с мониторингом репозиции и репарации [Текст] / А. В. Зюзько [и др.] // Медицинская визуализация. – 2012. – № 6. – С. 112–126.

66. Ультразвуковая диагностика послеоперационного периода острого гематогенного остеомиелита у детей [Текст] / С. А. Полковникова [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2011. – № 5. – С. 102.

67. Ультразвуковое исследование плечевого сустава при динамическом наблюдении пациентов с переломами проксимального отдела плечевой кости [Текст] / И. И. Мажорова [и др.] // Весенние дни ортопедии : тезисы

Международного конгресса / под редакцией Н. В. Загороднего. – Москва, 2019. – С. 115–117.

68. Ультразвуковое мониторирование процессов консолидации переломов длинных трубчатых костей при остеосинтезе с использованием биоактивных имплантатов [Текст] / В. Д. Завадовская [и др.] // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2014. – № 5. – С. 40–48

69. Ультразвуковые критерии диагностики различных стадий первичного и вторичного коксартроза [Текст] / Т. И. Менщикова [и др.] // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2019. – Т. 9, № 1. – С. 75–88.

70. Ультразвуковые методы в оценке консолидации после применения металлоостеосинтеза при переломах костей [Текст] / В. Д. Завадовская [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2008. – № 3. – С. 84–90.

71. Халтман Я. Практическое применение ультразвука. Ультразвуковые системы в операционной // Medinews — 2001. — №1. — С. 14-15.

72. Ходжибекова, Ю. М. Ультрасонография локтевого сустава у детей при травматических повреждениях [Текст] / Ю. М. Ходжибекова, Ч. Б. Шодмонова, С. К. Каримова // Re-health journal. – 2021. – № 1 (9). – С. 41–46.

73. Чернышенко, И. О. Использование эхографии для диагностики переломов костей носа [Текст] / И. О. Чернышенко, Ю. Ю. Русецкий, Е. И. Джмилъ // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2005. – № 2. – С. 181.

74. Шевцов, В. И. Новые данные об использовании эхографии локтевого сустава при посттравматических контрактурах [Текст] / В. И. Шевцов, Л. А. Гребенюк, Ю. П. Солдатов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2005. – № 2. – С. 181.

75. Шевцов, В. И. Эхографическая оценка дистракционного регенерата большеберцовой кости в режиме энергетического доплеровского сканирования [Текст] / В. И. Шевцов, Т. И. Менщикова // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2005. – № 2. – С. 181–182.

76. Щуров, В. А. Особенности кровоснабжения дистракционного регенерата

при оперативном удлинении голени по методу Илизарова [Текст] / В. А. Щуров, С. О. Мурадисинов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – №. 9. – С. 62–65.

77. Эффективность ультразвуковой диагностики спортивной травмы коленного сустава в сравнении с магнито-резонансной томографией и артроскопией / В. А. Пьянков [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2011. – № 5. – С. 103.

78. Юмашев Г. С., Фурман М. Е., Филатов В. А. Восстановление трудоспособности после оперативного лечения остеохондроза позвоночника. В кн.: Сборник работ Ин-та полиомиелита. М., 1967, с. 487.

79. Юрковский, А. М. Диагностическая ценность изменений костной ткани в зонах энтезов подвздошно-поясничных связок, задних длинных крестцово-подвздошных связок, крестцово-бугорных связок: сопоставление данных гистологических, сонографических и КТ-исследований [Текст] / А. М. Юрковский, И. В. Назаренко, Н. В. Бобович // Неврология и нейрохирургия. Восточная Европа. – 2018. – Т. 8, N 3. – С. 400–406

80. Юрковский, А. М. Сонография в диагностике синдрома боли в нижней части спины [Текст] / А. М. Юрковский, И. В. Назаренко // Здоровоохранение (Минск). – 2018. – № 11. – С. 50–54.

81. Accuracy of bedside ultrasonography for the diagnosis of finger fractures [Text] / E. Aksay [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2016. – Vol. 34. – P. 809–812.

81. Accuracy of Point-of-Care Ultrasonography for Diagnosis of Elbow Fractures in Children [Text] / J. E. Rabiner [et al.] // Annals of Emergency Medicine. – 2012. – Vol. 61, N 1. – P. 9–17.

82. Advanced ultrasonic diagnosis of extremity trauma: the FASTER examination [Text] / S. A. Dulchavsky [et al.] // J. Trauma. – 2002. – Vol. 53. – P. 28–32.

83. [Andia](#), I. Hyperuricemic PRP in Tendon Cells [Text] / [I. Andia](#), [E. Rubio-Azpeitia](#), [N. Maffulli](#) // [Biomed. Res. Int.](#) – 2014. – Vol. 2014. – 926481. doi: [10.1155/2014/926481](https://doi.org/10.1155/2014/926481).

84. Autologous preparations rich in growth factors promote proliferation and induce VEGF and HGF production by human tendon cells in culture [Text] / E. Anitua [et al.] // Journal of Orthopaedic Research. – 2005. – Vol. 23, N 2. – P. 281–286.
85. Automatic bone detection and soft tissue aware ultrasound–CT registration for computer-aided orthopedic surgery [Text] / W. Wein [et al.] // [International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery](#). – 2015. – Vol. 10, N 6. – P. 971–979.
86. Bedside Ultrasound Diagnosis of Clavicle Fractures in the Pediatric Emergency Department [Text] / K. P. Cross [et al.] // Academic emergency medicine. – 2010. – Vol. 17, N 7. – P. 687–693.
87. Bellah, R. Ultrasound in pediatric musculoskeletal disease: techniques and applications [Text] / R. Bellah // Radiol. Clin. North Am. – 2001. – Vol. 39, N 4. – P. 597–618.
88. Choice of intra-articular injection in treatment of knee osteoarthritis: platelet-rich plasma, hyaluronic acid or ozone options [Text] / T. M. Duymus [et al.] // [Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.](#) – 2017. – Vol. 25, N 2. – P. 485–492.
89. Comparing diagnostic accuracy of bedside ultrasound and radiography for bone fracture screening in multiple trauma patients at the ED [Text] / S. Bolandparvaz [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2013. – Vol. 31. – P. 1583–1585.
90. Comparison of the in vitro effects of low-level laser therapy and low-intensity pulsed ultrasound therapy on bony cells and stem cells [Text] / M. Bayat [et al.] // Prog. Biophys. Mol. Biol. – 2018. – Vol. 133. – P. 36–48.
91. [Connell](#), Mary J. Bedside Musculoskeletal Ultrasonography [Text] / Mary J. [Connell](#), Teresa S. [Wu](#) // [Critical Care Clinics](#). – 2014. – [Vol. 30, N 2](#). – P. 243–273.
92. Craig, J. G. Ultrasound of fracture and bone healing [Text] / J. G. Craig, J. A. Jacobson, B. R. Moed // Radiol. Clin. North Am. – 1999. – Vol. 37. – P. 737–751.

93. Christensen A. W., Rifbjerg-Madsen S., Christensen R., Amris K., Taylor P. C., Loch H., Ellegaard K., Torp-Pedersen S., Jespersen A., Bartels E., Danneskiold-Samsoe B., Bliddal H. Temporal summation of pain and ultrasound Doppler activity as predictors of treatment response in patients with rheumatoid arthritis: protocol for the Frederiksberg hospitals Rheumatoid Arthritis, pain assessment and Medical Evaluation (FRAME-cohort) study // *BMJ Open*. 2014. V. 4. P. e004313.
94. Derbyshire, N. D. J. A role for ultrasound in limb lengthening [Text] / N. D. J. Derbyshire, A. H. R. W. Simpson // *Br. J. Radiol.* – 1992. – Vol. 65. – P. 576–580.
95. Developmental dysplasia of the hip: What has changed in the last 20 years? [Text] / P. Kotlarsky [et al.] // *World J. Orthop.* – 2015. – Vol. 6m N 11. – P. 886–901.
96. Diagnosis of occult scaphoid fracture with high-spatial-resolution sonography: a prospective blind study [Text] / C. Fusetti [et al.] // *J. Trauma.* – 2005. – Vol. 59. – P. 677–681.
97. Diagnostic value of "bedside ultrasonography" and the "water bath technique" in distal forearm, wrist, and hand bone fractures [Text] / H. R. Javadzadeh [et al.] // *Emerg. Radiol.* – 2014. – Vol. 21. – P. 1–4.
98. Differences in LIMA Doppler characteristics for different LAD perfusion areas [Text] / J. M. Hartman [et al.] // *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* – 2001. – Vol. 20, N 6. – P. 1135–1141.
99. Dual growth factor-immobilized asymmetrically porous membrane for bone-to-tendon interface regeneration on rat patellar tendon avulsion model [Text] / J. H. Kim [et al.] // *J. Biomed. Mater. Res.* – 2018. – Vol. 106, N 1. – P. 115–125.
100. Efficacy of Intra-articular Platelet-Rich Plasma Injections in Knee Osteoarthritis: A Systematic Review [Text] / C. J. Meheux [et al.] // [Arthroscopy](#). – 2016. – Vol. 32, N 3. – P. 495–505.

101. [Efficacy of Platelet-Rich Plasma in the Treatment of Knee Osteoarthritis: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials](#) [Text] / W. L. Dai [et al.] // Arthroscopy. – 2017. – Vol. 33, N 3. – P. 659–670.e1.
102. Eyres, K. S. Methods of assessing new bone formation during limb lengthening. Ultrasonography, dual energy X-ray absorptiometry and radiography compared [Text] / K. S. Eyres, M. J. Bell, J. A. Kanis // J. Bone Joint Surg. – 1993. – Vol. 75-B. – P. 358–364.
103. Finlay, K. Ultrasonography of the lower extremity [Text] / K. Finlay, L. Friedman // Orthop. Clin. North Am. – 2006. – Vol. 37, N 3. – P. 245–275.
104. Gleeson, T. Point-of-Care Ultrasound in Trauma [Text] / T. Gleeson, D. Blehar // Semin Ultrasound CT MR. – 2018. – Vol. 39, N 4. – P. 374–383.
105. Goal-directed ultrasound in emergency medicine: evaluation of a specific training program using an ultrasonic stethoscope [Text] / C. Carrie [et al.] // Eur. J. Emerg. Med. – 2015. – Vol. 22. – P. 419–425.
106. Goal-directed ultrasound in the detection of long-bone fractures [Text] / T. H. Marshburn [et al.] // J. Trauma. – 2004. – Vol. 57. – P. 329–332.
107. Gould P. Musculoskeletal CT makes a decisive comeback / / Diagnostic Imaging Europe — 2002. — June. — P. 7-8.
108. Graf, R. Hip sonography update. Quality-management, catastrophes – tips and tricks [Text] / R. Graf, M. Mohajaer, F. Plattner // Medical Ultrasond. – 2013. – Vol. 15, N [4](#). – P. 299–303.
109. Harcke H. T., Karatas A. F., Cummings S., Bowen J. R. Sonographic Assessment of Hip Swaddling Techniques in Infants With and Without DDH // [Journal of Pediatr. Orthop.](#) 2015. V. 35. P. [115-218, e8-e19](#).
110. Henderson, R. E. Current and Prospective Use of Musculoskeletal Diagnostic Ultrasound Imaging at Chiropractic Teaching Institutions: A Worldwide Survey of Diagnostic Imaging Staff [Text] / R. E. Henderson, B. F. Walker, K. J. Young // Chiropr. Med. – 2017. – Vol. 16, N 1. – P. 54–63.

111. Herneth A.M., Siegmeth A., Bader T.R. et al. Scaphoid fractures: evaluation with high-spatial-resolution US: initial results // Radiology —2001. — Vol. 220, №1. —P. 231-235.
112. Hill-Sachs lesion: sonographic detection [Text] / P. U. Farin [et al.] // Skeletal. Radiol. – 1996. – Vol. 25. – P. 559–562.
113. Hill-Sachs lesion in recurrent shoulder dislocation: sonographic detection [Text] / N. Cicak, R. Bilic, D. Delimar // J. Ultrasound. Med. – 1998. – Vol. 17. – P. 557–560.
114. Hoffman, D. F. Ultrasonography of fractures in sports medicine [Text] / D. F. Hoffman, E. Adams, S. Bianchi // Br. J. Sports Med. – 2015. – Vol. 49. – P. 152–160.
115. Intra-articular injection of photo-activated platelet-rich plasma in patients with knee osteoarthritis: a double-blind, randomized controlled pilot study [Text] / K. L. Paterson [et al.] // [BMC Musculoskelet. Disord.](#) – 2016. – Vol. 17. – P. 67.
116. Investigation of Suspected Fracture-a Comparison of Ultrasound With Conventional Imaging [Text] / G. L. Schmid [et al.] // Dtsch. Arztebl. Int. – 2017. Bd. 114, N 45. – S. 757–764.
117. Jacobson, J. A. Musculoskeletal ultrasound and MRI: which do I choose? [Text] / J. A. Jacobson // Semin Musculoskelet Radiol. – 2005. – Vol. 9, N 2. – P. 135–149.
118. Janion, C. Thymidine phosphorylase and other enzymes in regenerating rat liver [Text] / C. Janion, D. Shugar // Acta Biochim. Pol. – 1961. – N 8. – P. 337–344.
119. Katiyar, A. Ultrasound stimulation increases proliferation of MC3T3-E1 preosteoblast-like cells [Text] / A. Katiyar, R. L. Duncan, K. Sarkar // J. Ther. Ultrasound. – 2014. – N 2. – P. 1.
120. Maffulli, N. Ultrasonographic appearance of external callus in long-bone fractures [Text] / N. Maffulli, A. Thornton // Injury. – 1995. – Vol. 26. – P. 5–12.

121. Majidinia, M. The roles of signaling pathways in bone repair and regeneration [Text] / M. Majidinia, A. Sadeghpour, B. Yousefi // J. Cell Physiol. – 2018. – Vol. 233, N 4. – P. 2937–2948.
122. Meyer, R. A. History of ultrasound in cardiology [Text] / R. A. Meyer // J. Ultrasound. Med. – 2004. – Vol. 23, N 1. – P. 1–11.
123. Microparticles for Sustained Growth Factor Delivery in the Regeneration of Critically-Sized Segmental Tibial Bone Defects [Text] / G. T. Kirby [et al.] // Materials (Basel). – 2016. – Vol. 9, N 4. – pii: E259.
124. Minimally invasive registration for computer-assisted orthopedic surgery: combining tracked ultrasound and bone surface points via the P-IMLOP algorithm [Text] / S. Billings [et al.] // [International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery](#). – 2015. – Vol. 10, N 6. – P. 761–771.
125. Multiple PRP injections are more effective than single injections and hyaluronic acid in knees with early osteoarthritis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial [Text] / G. Görmeli [et al.] // [Knee Surg Sports Traumatol. Arthrosc.](#) – 2017. – Vol. 25, N 3. – P. 958–965.
126. Musculoskeletal injuries in a resource-constrained environment: comparing diagnostic accuracy of on-the-spot ultrasonography and conventional radiography for bone fracture screening during the Paris-Dakar rally raid [Text] / B. Dallaudiere [et al.] // Acta Radiol. Open. – 2015. – Vol. 4, N 5. – P. 1–7.
127. Nelson, B. P. Use of ultrasound by emergency medical services: a review [Text] / B. P. Nelson, K. Chason // Int. J. Emerg. Med. – 2008. – N 1. – P. 253–259.
128. Occult fractures of the scaphoid: the role of ultrasonography in the emergency department [Text] / A. Platon [et al.] // Skeletal. Radiol. – 2011. – Vol. 40. – P. 869–875.
129. Paterson A.M., Piper K.J., Ryan CM. The implementation of radiographic service for skeletal trauma // Eur Rad. — 1999. — Vol. 9, Suppl. 1. — P. SI 20.

130. Platelet-Rich Plasma Intra-articular Knee Injections Show No Superiority Versus Viscosupplementation. A Randomized Controlled Trial [Text] / G. Filardo [et al.] // [Am. J. Sports Med.](#) – 2015. – Vol. 43, N 7. – P. 1575–1582.
131. Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma [Text] / D. Stengel [et al.] // *Cochrane Database Syst Rev.* – 2018. – Vol. 12, N 12. – CD012669.
132. Positive effect of an autologous platelet concentrate in lateral epicondylitis in a double-blind randomized controlled trial: platelet-rich plasma versus corticosteroid injection with a 1-year follow-up [Text] / J. C. Peerbooms [et al.] // *The American Journal of Sports Medicine.* – 2010. – Vol. 38, N 2. – P. 255–262.
133. Posttraumatic painful hip: sonography as a screening test for occult hip fractures [Text] / O. Safran [et al.] // *J. Ultrasound. Med.* – 2009. – Vol. 28. – P. 1447–1452.
134. Programmed Platelet-Derived Growth Factor-BB and Bone Morphogenetic Protein-2 Delivery from a Hybrid Calcium Phosphate Alginate Scaffold [Text] / E. A. Bayer [et al.] // *Tissue Eng. Part A.* – 2017. – N 23-24. – P. 1382–1393.
135. Prospective use of ultrasound imaging to detect bony hand injuries in adults [Text] / V. S. Tayal [et al.] // *J. Ultrasound. Med.* – 2007. – Vol. 26. – P. 1143–1148.
136. [PRP and HA for Hip Osteoarthritis: Response](#) [Text] / D. Dallari [et al.] // *Am. J. Sports Med.* – 2016. – Vol. 44, N 9. – P. 44–46.
137. Randomized, controlled trial of immediate versus delayed goal-directed ultrasound to identify the cause of nontraumatic hypotension in emergency department patients [Text] / A. E. Jones [et al.] // *Crit. Care Med.* – 2004. – Vol. 32. – P. 1703–1708.
138. Re-evaluation of low intensity pulsed ultrasound in treatment of tibial fractures (TRUST): randomized clinical trial [Text] / J. W. Busse [et al.] // *BMJ.* – 2016. – Vol. 355. – i5351.

139. Reliability and Validity Study of Clinical Ultrasound Imaging on Lateral Curvature of Adolescent Idiopathic Scoliosis [Text] / Q. Wang [et al.] // PLoS One. – 2015. – Vol. 10, N 8. – e0135264.
140. Resuscitative Long-Bone Sonography for the Clinician: Usefulness and Pitfalls of Focused Clinical Ultrasound to Detect Long-Bone Fractures During Trauma Resuscitation [Text] / A. S. Al-Kadi [et al.] // Eur. J. Trauma Emerg. Surg. – 2009. – Vol. 35, N 4. – P. 357.
141. Ricciardi, L. Mechanical monitoring of fracture healing using ultrasound imaging [Text] / L. Ricciardi, A. Perissinotto, M. Dabala // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1993. – Vol. 293. – P. 71–76.
142. Quantification of TGF-ss1, PDGF and IGF-1 cytokine expression after fracture treatment vs. non-union therapy via masquelet [Text] / C. Fischer [et al.] // Injury. – 2016. – Vol. 47. – P. 342–349.
143. Salen, P. N. The focused abdominal sonography for trauma (FAST) examination: considerations and recommendations for training physicians in the use of a new clinical tool [Text] / P. N. Salen, S. W. Melanson, M. B. Heller // Acad. Emerg. Med. – 2000. – N 7. – P. 162–168.
144. Scaphoid fractures: evaluation with high-spatial-resolution US initial results [Text] / A. M. Herneth [et al.] // Radiology. – 2001. – Vol. 220, N 1. – P. 231–235.
136. Sensitivity and specificity of bedside ultrasonography in the diagnosis of fractures of the fifth metacarpal [Text] / E. Aksay [et al.] // Emerg. Med. J. – 2015. – Vol. 32. – P. 221–225.
145. Schnyder P. Chest trauma imaging // European Radiology — 1997. — Vol. 7, Suppl. — P. S215.
146. Sensitivity and specificity of ultrasonography in early diagnosis of metatarsal bone stress fractures: a pilot study of 37 patients [Text] / F. Banal [et al.] // J. Rheumatol. – 2009. – Vol. 36. – P. 1715–1719.
147. Smart bone plates can monitor fracture healing [Text] / M. C. Lin [et al.] // Sci Rep. – 2019. – Vol. 9, N 1. – P. 2122.

148. Smith, J. Diagnostic and interventional musculoskeletal ultrasound: part 2. Clinical applications [Text] / J. Smith, J. T. Finnoff // PMR. – 2009. – N 1. – P. 162–177.
149. Sonographic Assessment of Hip Swaddling Techniques in Infants With and Without DDH [Text] / H. T. Harcke [et al.] // [Journal of Pediatr. Orthop.](#) – 2015. – Vol. 35. – P. [115218, e8–e19](#).
150. Sonographic evaluation of bone production at the distraction site in Ilizarov limb-lengthening procedures [Text] / J. W. Young [et al.] // AJR Am. J. Roentgenol. – 1990. – Vol. 154. – P. 125–128.
151. Strakowski, J. A. Musculoskeletal ultrasound for traumatic and torsional alterations [Text] / J. A. Strakowski, F. Y. Chiou-Tan // Muscle Nerve. – 2020. – Vol. 62, N 6. – P. 654–663.
152. Systematic reviews of diagnostic test accuracy [Text] / M. M. Leeflang [et al.] // Ann. Intern. Med. – 2008. – Vol. 149. – P. 889–897.
153. [Tahmasebi](#), M. Accuracy of ultrasonography in detecting radiolucent soft-tissue foreign bodies [Text] / M. [Tahmasebi](#), H. [Zareizadeh](#), A. [Motamedfar](#) // Indian. J. Radiol. Imaging. – 2014. – Vol. 24, N [2](#). – P. 196–200.
154. Tele-ultrasound and paramedics: real-time remote physician guidance of the Focused Assessment With Sonography for Trauma examination [Text] / K. S. Boniface [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2011. – Vol. 29. – P. 477–481.
155. Temporal summation of pain and ultrasound Doppler activity as predictors of treatment response in patients with rheumatoid arthritis: protocol for the Frederiksberg hospitals Rheumatoid Arthritis, pain assessment and Medical Evaluation (FRAME-cohort) study [Text] / A. W. Christensen [et al.] // BMJ Open. – 2014. – Vol. 4. – P. e004313.
156. The accuracy of bedside ultrasonography as a diagnostic tool for fractures in the ankle and foot [Text] / O. D. Atilla [et al.] // Acad. Emerg. Med. – 2014. – Vol. 21. – P. 1058–1061.

157. The accuracy of bedside ultrasonography as a diagnostic tool for the fifth metatarsal fractures [Text] / M. Yesilaras [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2014. – Vol. 32. – P. 171–174.
158. The accuracy of point-of-care ultrasound as a diagnostic tool for patella fractures [Text] / T. Y. Kilic [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2016. – Vol. 34. – P. 1576–1578.
159. The accuracy of ultrasound evaluation in foot and ankle trauma [Text] / S. Ekinici [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2013. – Vol. 31, N 11. – P. 1551–1555.
160. The activity of thymidine phosphorylase as a new ovarian tumor marker [Text] / E. Miszczak-Zaborska [et al.] // Gynecol. Oncol. – 2004. – Vol. 94, N 1. – P. 86–92.
161. The comparison of bedside point-of-care ultrasound and computed tomography in elbow injuries [Text] / M. Avcı [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2016. – Vol. 34, N 11. – P. 2186–2190.
162. The effectiveness of ultrasound in the detection of fractures in adults with suspected upper or lower limb injury: a systematic review and subgroup meta-analysis [Text] / N. Champagne [et al.] // BMC Emerg. Med. – 2019. – Vol. 19, N 1. – P. 17.
163. The evaluation of the sensitivity and specificity of wrist examination findings for predicting fractures [Text] / Y. Eyler [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2018. – Vol. 36, N 3. – P. 425–429.
164. The radiographic union scale in tibial (RUST) fractures: reliability of the outcome measure at an independent centre [Text] / J. M. Leow [et al.] // Bone Joint Res. – 2016. – N 5. – P. 116–121.
165. The role of ultrasonography in the diagnosis of metacarpal fractures [Text] / S. Kosaoglu [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2016. – Vol. 34. – P. 1868–1871.
166. The role of ultrasound imaging of callus formation in the treatment of long bone fractures in children [Text] / M. Wawrzyk [et al.] // Pol. J. Radiol. – 2015. – Vol. 80. – P. 473–478.

167. The value of point-of-care ultrasound for detecting nail bed injury in ED [Text] / F. Gungor [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2016. – Vol. 34. – P. 1850–1854.
168. Thymidine Catabolism as a Metabolic Strategy for Cancer Survival [Text] / S. Tabata [et al.] // Cell Rep. – 2017. – Vol. 19. – P. 1313–1321.
169. Thymidine Phosphorylase in Cancer; Enemy or Friend? [Text] / Y. Y. Elamin [et al.] // Cancer Microenviron. – 2016. – N 9. – P. 33–43.
170. Trauma Imaging : A Literature Review [Text] / J. H. Vela [et al.] // Radiol. Technol. – 2017. – Vol. 88, N 3. – P. 263–276.
171. Ultrasonic monitoring of bone fracture healing [Text] / V. C. Protopappas [et al.] // IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control. – 2008. – Vol. 55, N 6. – P. 1243-1255.
172. Ultrasonography as a better diagnostic efficiency in rib fracture [Text] / M. Uzun [et al.] // Journal of Experimental and Clinical Medicine. – 2013. – Vol. 30. – P. 133–135.
173. Ultrasonography in assessing suspected bone fractures: a cross-sectional survey amongst German general practitioners [Text] / G. L. Schmid [et al.] // BMC Fam. Pract. – 2020. – Vol. 21, N 1. – P. 9.
174. Ultrasound as an adjunct to radiography in minor musculoskeletal pediatric trauma [Text] / K. S. Abi [et al.] // J. Med. Liban. – 2011. – Vol. 59, N 2. – P. 70–74.
175. Ultrasound-assisted triage of ankle trauma can decrease the need for radiographic imaging [Text] / H. Hedelin [et al.] // Am. J. Emerg. Med. – 2013. – Vol. 31. – P. 1686–1689.
176. Ultrasound evaluation of elbow fractures in children [Text] / K. Eckert [et al.] // [Journal of Medical Ultrasonics](#). – 2013. – Vol. 40, N 4. – P. 443–451.
177. Ultrasound induces hypoxia-inducible factor-1 activation and inducible nitric-oxide synthase expression through the integrin/integrin-linked

- kinase/Akt/mammalian target of rapamycin pathway in osteoblasts [Text] / C. H. Tang [et al.] // J. Biol. Chem. – 2007. – Vol. 282. – P. 25406–25415.
178. Use of ultrasound in the developing world [Text] / S. Sippel [et al.] // Int. J. Emerg. Med. – 2011. – N 4. – P. 72.
179. Validation of the Sonographic Ottawa Foot and Ankle Rules (SOFAR) Study in a Large Urban Trauma Center [Text] / B. Tollefson [et al.] // J. Miss. State Med. Assoc. – 2016. – Vol. 57. – P. 35–38.
180. Visualizing Angiogenesis by Multiphoton Microscopy In Vivo in Genetically Modified 3D-PLGA/nHAp Scaffold for Calvarial Critical Bone [Text] / J. Li [et al.] // Defect Repair. J. Vis. Exp. – 2017. – Vol.127. DOI: 10.3791/55381.
181. Wahlgren J. TNCC, trauma education for nurses and radiographers: a team approach // European Radiology — 2000. —Vol. 10, №2. — Suppl. 1. —P. 29-30.
182. Weinberg, E. R. Accuracy of clinician-performed point-of-care ultrasound for the diagnosis of fractures in children and young adults [Text] / E. R. Weinberg, M. G. Tunik, J. W. Tsung // Injury. – 2010. – Vol. 41, N 8. – P. 862–868.
183. Weiss, D. B. The use of ultrasound in evaluating orthopaedic trauma patients [Text] / D. B. Weiss, J. A. Jacobson, M. A. Karunakar // J. Am. Acad. Orthop. Surg. – 2005. – Vol. 13, N 8. – P. 525–533.
184. What is the role of ultrasound in fracture management?: Diagnosis and therapeutic potential for fractures, delayed unions, and fracture-related infection [Text] / J. A. Nicholson [et al.] // Bone Joint Res. – 2019. – Vol. 8, N 7. – P. 304–312.
185. Yesilaras, M. Diagnosis of triceps tendon rupture with bedside ultrasonography [Text] / M. Yesilaras, E. Aksay // Emerg. Med. Australas. – 2013. – Vol. 25. – P. 475–476.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

ВЧКО – внеочаговый чрескостный остеосинтез

КТ – компьютерная томография

МРТ – магнитно-резонансная томография

ОДА – опорно-двигательный аппарат

ОПЗ – отрицательная прогностическая ценность

ППЗ – положительная прогностическая ценность

ТФ – тимидинфосфорилаза

УЗ – ультразвук, ультразвуковое (-ой, -ая)

УЗИ – ультразвуковое исследование

УЗД – ультразвуковая диагностика

CAOS – Computer Assisted (Aided) Orthopedic Surgery

PRP-терапия – терапия с использованием плазмы обогащенной тромбоцитами

PD-ECGF – тромбоцитарный фактор роста эндотелия сосудов

PDGF – тромбоцитарный фактор роста

VEGF – эндотелиальный фактор роста