

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМЕНИ Р.Р. ВРЕДЕНА»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ЛЕБЕДКОВ  
Иван Валерьевич

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
КОМБИНИРОВАННОГО ЧРЕСКОСТНОГО И ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОГО  
ОСТЕОСИНТЕЗА И УДЛИНЕНИЯ ПО ИЛИЗАРОВУ  
ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЛИНЫ ГОЛЕНИ И БЕДРА  
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

3.1.8. — травматология и ортопедия

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук, доцент Щепкина Е.А.

Санкт-Петербург

2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<b>Введение</b>		6
<b>Глава I</b>	<b>Современное состояние проблемы лечения пациентов с неравенством длин нижних конечностей (обзор литературы)</b>	15
1.1	Актуальность хирургического удлинения длинных костей нижних конечностей	15
1.2	Этапы развития хирургического удлинения конечностей	19
1.2.1	Одномоментное удлинение	20
1.2.2	Развитие методик удлинения дистракцией во времени	20
1.2.3	Удлинение конечностей методом Илизарова	24
1.2.4	Комбинированные методики удлинения	29
1.2.5	Удлинение при помощи внутренних дистракторов.	35
1.3	Особенности дистракционного остеогенеза при комбинированных методиках удлинения	36
1.4	Осложнения при дистракционном остеогенезе	39
1.5	Резюме	44
<b>Глава II</b>	<b>Материалы и методы исследования</b>	47
2.1	Структура и общая характеристика диссертационного исследования	47
2.2	Материалы и методы исследования в эксперименте на животных	48
2.2.1	Материалы исследования в эксперименте на животных	48
2.2.2	Хирургические протоколы (методы) в экспериментальном исследовании на животных	50

2.2.3	Методики клинического обследования лабораторных животных	60
2.2.4	Материалы и методы рентгенологического и морфологического исследований	61
2.3	Материалы и методы биомеханического стендового исследования	63
2.3.1	Материалы биомеханического стендового исследования	63
2.3.2	Методы биомеханического стендового исследования	68
2.3.3	Оптимизация выполнения методики «удлинение поперх гвоздя»	69
2.4	Оценки клинической эффективности комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза	70
2.4.1	Характеристика клинических групп исследования	71
2.4.2	Методики клинического и рентгенологического обследования пациентов	74
2.4.3	Хирургические методики	74
2.4.4	Инструменты субъективной оценки результатов лечения	78
2.4.5	Оценка осложнений	80
2.5	Методики статистической обработки количественных данных	81
<b>Глава III</b>	<b>Результаты экспериментальных исследований на лабораторных животных</b>	<b>83</b>
3.1	Разработка и апробация экспериментальной модели для исследования комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза	83

3.2	Результаты сравнительного экспериментального исследования удлинения по Илизарову и удлинения поверх интрамедуллярного фиксатора	87
3.2.1	Результаты клинического обследования животных	87
3.2.2	Результаты лучевых методов исследования	87
3.2.3	Результаты морфологии	95
3.2.4	Результаты морфометрии	102
3.3	Обсуждение результатов экспериментального исследования на животных	107
<b>Глава IV</b>	<b>Результаты биомеханических исследований и техническое усовершенствование методики</b>	110
4.1	Результаты биомеханических исследований	110
4.1.1	Результаты стендовых исследований компоновок аппаратов для удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня	110
4.1.2	Сравнение результатов двух серий биомеханического эксперимента	116
4.2	Разработка и применение универсального направителя для позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов	117
4.2.1	Общее описание направителя	119
4.2.2	Техника применения универсального направителя для позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов, способ его применения	123
4.2.3	Резюме	128

<b>Глава V</b>	<b>Оценка результатов удлинения длинных костей нижних конечностей по Илизарову и с использованием методики «удлинение поверх гвоздя»</b>	129
5.1	Сравнительная оценка лечения в клинических группах при удлинении длинных костей нижних конечностей по Илизарову и при применении методики «удлинение поверх гвоздя»	129
5.1.1	Сравнительная оценка периодов и длительности лечения в клинических группах	129
5.1.2	Сравнительная оценка результатов коррекции по рентгенологическим данным	131
5.1.3	Сравнительная оценка осложнений в клинических группах	135
5.1.4	Сравнение данных субъективной оценки результатов лечения	138
5.1.5	Комплексная оценка результатов лечения	141
5.1.6	Обсуждение полученных результатов	148
5.2	Результаты клинического применения разработанного устройства направителя	156
5.3	Резюме	162
Заключение		164
Выводы		170
Практические рекомендации		172
Список сокращений		173
Список литературы		175

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования**

Неравенство длин конечностей сохраняет высокую актуальность. В структуре осложнений после тяжелых повреждений бедренной и большеберцовой костей Н.А. Нелин (2010) выделяет укорочение (50,8%), деформации 25,2%, дефекты 24%. По данным А.А. Артемьева (2020) количество сросшихся с деформацией переломов длинных костей нижних конечностей составляет 40–60% от общего количества, а разница в длине при этом имеется минимум у трети пациентов. При этом в возрастном составе травматизма преобладают люди трудоспособного возраста – до 70 % (Миронов С.П. с соавт., 2019). В 2018 году доля первичного выхода на инвалидность по причине травматизма составила 43,9% (по данным статистического сборника Росстата, 2019).

Лечение пациентов с такими повреждениями и их последствиями сохраняет высокую актуальность (Иванов П.А. с соавт., 2013; Говоров М. В. с соавт., 2017; Алексанин С.С. с соавт. 2020; Губин А.В., Ключин Н.М., 2020; Ганиев А.В. с соавт., 2021; Смагулов Д. Е. с соавт., 2021; Mundi R. et al. 2015; Feichtinger, X. et al. 2020). Высокая актуальность сохраняется и при врожденной патологии. По данным Л.А. Поповой (1989 г.) около 50 % ортопедических больных нуждаются в удлинении конечностей, а наиболее часто требуется удлинение бедра или голени. По данным ряда авторов в структуре ортопедической патологии пороки развития опорно-двигательной системы у детей составляют до половины всех случаев врожденной патологии (Поздеев А. П. с соавт. 2010), а неравенство длин конечностей присутствует у 12 % от общего числа пациентов (Затона Д. Б., 2008; Малахов О. А. с соавт., 2008; Поздеев А. П. с соавт. 2010). Независимо от этиологии развития укорочения ортопедически значимым в клинической практике считается укорочение нижних конечностей  $\geq 2$  см, а встречаемость такого укорочения – 1 на 1000 человек (Guichet J.M. et al., 1991).

Метод Илизарова до настоящего момента остается основным при реконструкции длинных костей нижних конечностей. Он же остается одним из

основных методов лечения при устранении неравенства длин конечностей (Колчев О.В., Борзунов Д.Ю., 2010; Артемьев А.А. с соавт. 2018; Губин А.В., 2019; Goldstein R.Y. et al., 2013; Birch J.G., 2017). Однако при наличии бесспорных преимуществ метода он не лишен недостатков в виде наличия внешней конструкции, требующей длительного ношения, необходимости ухода и наблюдении со стороны медперсонала. Количество осложнений в ходе применения метода находится в прямой зависимости от длительности внешней фиксации (Сидоренко В.А. с соавт., 2014; Соломин Л.Н., 2015; Paley D., 1990; Vargas Barreto V. et al., 2007; Lascombes P. et al., 2012; Xu W.G., 2017).

В качестве альтернативы удлинению в аппарате внешней фиксации (АВФ) Блискунов А.И. предложил способ удлинения с помощью внутрикостного дистрактора (1983). Эта методика активно развивается последние 40 лет (Куценко С.Н., 2009; Paley D., 2015; Frost M.W. et al., 2021), но на территории РФ интрамедуллярные дистракторы не сертифицированы и пока не могут быть применены в клинической практике. Поэтому заслуживают внимания комбинированные методики применения погружного и чрескостного остеосинтеза при удлинении костей, сочетающие преимущества как чрескостного остеосинтеза (ЧО), так и внутренней фиксации. Последовательные методики с учетом всех технических проблем и особенностей используется редко (Wu C.C., 2003; Rozbruch S.R. et al., 2008; Emara K. et al., 2011).

В клинической практике наибольшее распространение получили: «Удлинение поверх гвоздя (УПГ)» и «Удлинение вдоль пластины (УВП)». Последняя применяется преимущественно в педиатрической практике. «Удлинение поверх гвоздя» (УПГ) с применением интрамедуллярных блокируемых стержней для бедренной кости подробно описано и внедрено в практику D.Paley (1997). В дальнейшем методика была адаптирована и для других сегментов конечностей в работах С.Lin (1996) и А.Simpson (1999). Метод активно применяется в клинической практике по сей день и постоянно совершенствуется (Kocaoglu, M. et al., 2004; Burghardt R. D. et al., 2016; Fragomen, A.T., 2017; Nguyen Van L., 2021). Применение метода позволяет снизить частоту осложнений, типичных для

чрескостного остеосинтеза (Колчин С.Н. с соавт., 2018; El-Hussei-ni, T.F. et al., 2013; Burghardt R. D. et al., 2016; Farsetti P. et al., 2019), обусловленных, в первую очередь, сокращением периода внешней фиксации.

### **Степень разработанности темы исследования**

Во время установки интрамедуллярного импланта в ходе реализации в клинике методики «Удлинение поверх гвоздя (УПГ)» неизбежно происходит повреждение внутрикостного кровоснабжения и структур костного мозга. В экспериментальных работах, посвященных формированию регенерата на интрамедуллярном фиксаторе, данные, публикуемые в научной литературе, подчас имеют противоречивый характер, проведены в малых группах и только на крупных животных: козы, овцы, собаки (Ерофеев С.А., 2014; Еманов А.А. с соавт., 2014; Sitter, T. et al., 1990; Caton J. et al., 2001; Muzaffar N. et al., 2011; Wendelburg K.M. et al., 2011; Bragdon B. et al., 2015; Vulcano E. et al., 2018).

Для формирования более полной картины происходящего, позволяющей обосновать использование метода, необходим больший массив данных экспериментальных исследования, что проще реализовать на мелких животных. Однако, для этого требуется разработка специальных экспериментальных моделей. Технической особенностью при применении методики является тангенциальное проведение чрескостных элементов (ЧЭ). В ходе выполнения методики для избежания конфликта с гвоздем на большеберцовой кости проведение стержней-шурупов и спиц не вызывает больших трудностей, но на бедренной кости исключить конфликт сложнее (Paley D. et al., 1997; Kocaoglu M. et al., 2004). Одним из вариантов решения данной проблемы является применение экстракортикального фиксатора (ЭФ), который за счет конструктивных особенностей не проникает в костномозговую полость, что исключает конфликт между ним и интрамедуллярным стержнем (Соломин Л.Н., 2015). Однако, жесткость фиксации костных фрагментов для полной компоновки чрескостного аппарата с ЭФ исследовалась только на моделях без комбинации со стандартными чрескостными элементами и без учета введенного интрамедуллярного стержня.



При использовании методики УПГ бедренной кости при ретроградном введении стержня с наличием короткого дистального фрагмента могут возникнуть определенные сложности в позиционировании интрамедуллярного фиксатора. В случаях удлинения без дополнительных компонентов деформации замечено, что ограничивающие (поллерные) винты не только позволяют точно позиционировать фиксатор, но предохраняют от каких-либо дополнительных деформаций, возникающих в процессе удлинения (Furmetz J. et al., 2017). В случаях одновременной коррекции угловой деформации и удлинения поллерные винты эффективно помогают с коррекцией деформации и предотвращают прогрессирование деформации по мере удлинения (Muthusamy S. et al., 2016). При активном внедрении методики в широкую клиническую практику необходима оптимизация процесса точного введения ограничивающих винтов, а также точки введения интрамедуллярного фиксатора.

С учетом имеющихся проблем и вопросов были определены цель и задачи данного диссертационного исследования.

**Цель исследования:** выполнить экспериментальные обоснования и оценить в сравнительном плане клиническую эффективность комбинированного чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза с традиционной методикой по Илизарову при удлинении бедра и голени.

**Задачи исследования:**

1. Разработать модель для экспериментального изучения метода комбинированного удлинения костей на кроликах.
2. В эксперименте на животных определить морфологические и рентгенологические особенности формирования и перестройки дистракционного регенерата в условиях применения методики удлинения поверх интрамедуллярного фиксатора в сравнении с удлинением по Илизарову.
3. В ходе биомеханических стендовых экспериментов сравнить жесткость фиксации костных фрагментов при удлинении бедра поверх интрамедуллярного

стержня аппаратами на основе традиционных чрескостных элементов и в комбинации с экстракортикальными фиксаторами.

4. На основании результатов экспериментальных исследований и анализа клинического материала усовершенствовать технологию и инструментарий для удлинения бедра посредством комбинированного чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза и апробировать ее в клинике.

5. На основании анализа среднесрочных и отдаленных исходов лечения сравнить клиническую эффективность комбинированного чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза и традиционной методики по Илизарову при удлинении бедра и голени.

### **Научная новизна исследования**

1. Разработана оригинальная модель удлинения на интрамедуллярном фиксаторе с имитацией блокирования за счет сохранения в фазе фиксации аппарата со спицами в базовых опорах для экспериментальных исследований на кроликах и доказана ее адекватность.

2. В экспериментальном исследовании получены новые данные по органотипической перестройке дистракционного регенерата при удлинении большеберцовой кости кролика на интрамедуллярном фиксаторе в сравнении с удлинением по Илизарову.

3. На основании предложенного способа удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня (патент РФ на изобретение № 2584555) разработаны дополнительные компоновки комбинированных модулей и получены новые данные по жесткости фиксации при использовании традиционных чрескостных элементов и их комбинации с экстракортикальными фиксаторами.

4. Разработано и апробировано в клинике универсальное устройство для формирования точки ввода и проведения ограничивающих винтов при использовании ретроградного интрамедуллярного стержня при удлинении бедренной кости.

5. Получены новые данные по видам и числу послеоперационных осложнений, а также по показателям оценки качества жизни и функциональных шкал в период перехода на внутреннюю фиксацию при удлинении на интрамедуллярном стержне по сравнению с фазой фиксации при удлинении по Илизарову.

### **Практическая значимость результатов исследования.**

1. Разработанная оригинальная модель для изучения дистракционного остеогенеза при комбинированном применении чрескостного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза с целью удлинения сегментов конечностей у мелких лабораторных животных (кроликов) позволяет увеличить экспериментальные группы для повышения достоверности, получаемых в ходе исследования данных.

2. По результатам стендовых исследований жесткости остеосинтеза определены оптимальные для клинического применения компоновки аппаратов для «Удлинения поверх гвоздя» бедренной кости.

3. Применение разработанного универсального устройства для проведения ограничивающих винтов при удлинении бедра позволяет сократить частоту осложнений и улучшить результаты лечения пациентов изученного профиля.

4. Проведенная оценка применения в клинике предложенного способа удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня (патент РФ на изобретение № 2584555) показала его эффективность, что позволяет рекомендовать его для более широкого клинического использования.

### **Методология и методы исследования.**

Исследование состоит из экспериментальной и клинической части. Экспериментальная часть основана на исследовании дистракционного остеогенеза на лабораторных животных и определении жесткости комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза на пластиковых моделях бедренной кости с разными вариантами чрескостных элементов, выполненные на

биомеханическом стенде. Клиническая часть работы основана на сравнительной оценке результатов лечения пациентов при удлинении длинных костей нижних конечностей с помощью метода Илизарова и с применением комбинированного использования чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза. В ходе выполнения диссертационного исследования было разработано и апробировано в клинике универсальное устройство для формирования точки ввода и проведения ограничивающих винтов.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты экспериментального исследования позволяют утверждать, что при комбинированном применении чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза для удлинения костей наличие в костномозговой полости фиксатора не сказывается негативно на формировании дистракционного регенерата за счет сохранения эндостального и активизации периостального костеобразования, что обеспечивает формирование полноценных кортикальных пластинок в области регенерата за счет его периостальной области.

2. Использование разработанных компоновок комбинированных модулей с экстракортикальными фиксаторами для удлинения поверх гвоздя бедренной кости обеспечивает достаточную жесткость остеосинтеза, а применение универсального устройства-направителя для формирования точки ввода стержня и проведения ограничивающих винтов позволяет упростить выполнение таких операций.

3. Применение в клинике методики «удлинение поверх гвоздя» при удлинении бедра и голени позволяет снизить у профильных пациентов частоту характерных для чрескостного остеосинтеза осложнений и способствует обеспечению более высокой доли отличных функциональных исходов лечения по сравнению с традиционной методикой удлинения по Илизарову.

### **Степень достоверности результатов исследования.**

Полученные результаты диссертационного исследования основываются на анализе тематических научных публикаций, результатах экспериментальных исследований на лабораторных животных (кроликах) и биомеханических

экспериментальных исследованиях, а также на сравнительном клиническом анализе исходов лечения 139 профильных пациентов. При выполнении работы были использованы соответствующие методы исследования. Полученные данные были обработаны с применением методов статистического анализа.

### **Апробация результатов диссертационного исследования.**

Результаты и основные положения работы были доложены и обсуждены на: конференции молодых ученых Санкт-Петербург НМИЦ ТО им Р.Р. Вредена в 2015 и 2018 гг.; XI Всероссийском съезде травматологов-ортопедов. Санкт-Петербург, 2018 г.; конференции молодых ученых Москва ФГБУ "НМИЦ ТО им. Н.Н.Приорова" Минздрава России. 2018 г.; Международной научно-практической конференция «Илизаровские чтения», Курган 2019 г.; Шестом и Седьмом Всероссийском конгрессе с международным участием: Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях, Санкт-Петербург 2021 г. и 2023 г.

По теме диссертационного исследования опубликовано 11 научных работ, в том числе – 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикаций диссертантов, получен 1 патент РФ на изобретения; 6 тезисов в материалах съездов и конференций. Результаты диссертационного исследования внедрены в практику работы клиники ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р.Вредена» Минздрава России, а также используются в учебном процессе для ординаторов, аспирантов и врачей, проходящих обучение по программам дополнительного образования.

### **Личное участие автора в получении результатов.**

Диссертантом самостоятельно подготовлен аналитический обзор профильной научной литературы по изучаемой проблеме, определены цель и задачи диссертационной работы, проведены прикладные экспериментальные биомеханические исследования. В ходе клинического исследования автор лично участвовал в операциях двух сопоставимых клинических групп пациентов с укорочением нижних конечностей различной этиологии, оценивал функциональные исходы по шкалам SF-36 и LEFS. Изучены и проанализированы в

сравнительном плане ближайшие и среднесрочные исходы хирургического лечения. Также была проведена статистическая обработка полученных данных и их графическое представление в виде таблиц и рисунков, сформулированы выводы и практические рекомендации, подготовлены тексты научных публикаций, написаны текст диссертационной работы и автореферата.

### **Объем и структура диссертации.**

Диссертация изложена на 200 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы и 92 рисунка и состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы. Список литературы включает 222 источника: 94 отечественных и 128 – зарубежных авторов.

ГЛАВА I  
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛЕЧЕНИЯ  
ПАЦИЕНТОВ С НЕРАВЕНСТВОМ ДЛИН НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ  
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**1.1. Актуальность хирургического удлинения длинных костей нижних конечностей.**

По данным некоторых авторов (Gordon J.E. et al., 2019) только 10% населения имеют абсолютно одинаковую длину нижних конечностей. От 40% до 90% (Gurney В. 2002) населения разница в длине конечностей составляет менее 1,0 см. По другим данным разница в длине ног на  $\geq 1$  см отмечается у 1/3 исследованных (Hellsing A.L. et al., 1988; Brady R.J. et al., 2003). Несмотря на имеющуюся в некоторых источниках информацию о влиянии даже минимального значения ( $\geq 5$  мм) несоответствия длин конечностей на появление ортопедических проблем в долгосрочной перспективе (Gordon J.E. et al., 2019; Nichols L.R.V., 2021), общепризнанно ортопедически значимым в клинической практике считается укорочение  $\geq 2$  см. Однако распространенность такой величины неравенства длины конечностей точно не установлена, единственное доступное исследование говорит об ортопедическом лечении при неравенстве длин конечностей более 2 см у 1 человека из 1000 (Guichet J.M. et al., 1991).

Маркс В.О. (1978) выделяет следующие типы укорочений:

- кажущееся (сгибательное) укорочение: наблюдается при фиксированной под углом в суставе конечности, развивается при анкилозах и контрактурах;
- истинное (сегментарное) укорочение: отмечается при укорочении одной из кости конечности по сравнению с симметричным отделом здоровой;
- относительное (суставное) укорочение: встречается при изменении в расположении сочленяющихся сегментов (вывихи, деформации эпифизов, внутрисуставные переломы);
- суммарное (клиническое) укорочение — сумма всех прочих при их наличии.

Одна из основных причин развития укорочений нижних конечностей – травматизм. В структуре травм внесуставные переломы бедренной кости занимают от 10,4% до 30,8 % (Гайко Г.В., Козак Р.А., 2012; Цискарашвили А.В. с соавт., 2018), а диафизарные переломы костей голени составляют 32–61% – среди переломов длинных костей конечностей (Селицкий А. В., 2015). В структуре травматизма пострадавших в результате ДТП 10,6% составляют переломы костей нижних конечностей (Фаттахов Т., 2017). Частота множественных переломов длинных костей нижних конечностей составляет от 1,4 до 15,3 % всех травм (Кривенко С. Н., 2014), лечение пациентов с такими повреждениями и их последствиями сохраняет высокую актуальность (Иванов П.А. с соавт., 2013; Говоров М. В. С соавт., 2017; Алексанин С.С. с соавт. 2020; Губин А.В., Ключин Н.М., 2020; Ганиев А.В. с соавт., 2021; Смагулов Д. Е. с соавт., 2021; Mundi R. et al. 2015; Feichtinger, X. et al. 2020). Также высокую актуальность приобретает опасность техногенных катастроф, террористических актов и вооруженных конфликтов, что неминуемо увеличивает число тяжелых открытых повреждений, в том числе с первичным дефектом костной ткани, а, следовательно, и первичным укорочением конечностей. Укорочения и деформации при оценке результатов лечения раненых отмечают у 21,2% пострадавших (Хоминец В.В. с соавт., 2021). При лечении таких пациентов актуальной является методика острого укорочения позволяющее в более короткое время закрыть дефект мягких тканей с последующим удлинением сегмента в пределах здоровой ткани для устранения укорочения (Артемьев А.А., Иванов П.А., 2021).

В структуре осложнений после тяжелых повреждений бедренной и большеберцовых костей Н.А. Нелин (2010) выделяет укорочение (50,8%), деформации 25,2%, дефекты 24%. По данным А.А. Артемьева (2020) среди последствий переломов длинных костей нижних конечностей количество сросшихся с деформацией переломов составляет 40–60%. Разница в длине нижних конечностей при этом имеется минимум у трети пациентов. По данным Л.А. Поповой (1989 г.) около 50 % ортопедических больных нуждаются в удлинении конечности, а пациенты с укорочением бедра и голени встречаются наиболее часто.



При чем в возрастном составе травматизма преобладают люди трудоспособного возраста до 70 % (Миронов С.П. с соавт., 2019). В 2018 г. доля первичного выхода на инвалидность вследствие травматизма составила 43,9% (данные статистического сборника Росстата, 2019).

Заболеваемость детей в возрасте 0-14 лет болезнями костно-мышечной системы за 2021 г. снизилась в пределах 20,9% по сравнению с 2019 г. (644,2 по сравнению с 806 тыс. человек), а по данным статистического сборника Росстата от 2022 г. количество врожденных деформаций и пороков развития, за те же годы снизилось в пределах 15% (с 271,8 до 235,0 тыс. человек), но все равно остается довольно высоким. По данным ряда авторов в структуре ортопедической патологии пороки развития опорно-двигательной системы у детей составляют до половины всех случаев врожденной патологии (Поздеев А. П. С соавт. 2010), а неравенство длин конечностей присутствует у 12 % от общего числа пациентов (Затона Д. Б., 2008; Малахов О. А. С соавт., 2008; Поздеев А. П. С соавт. 2010), при этом врожденная разница в длине конечностей характеризуется формированием неоптимального двигательного стереотипа у детей и сложнее компенсируется, в отличие от посттравматического (Никитюк И. Е., Кононова Е. Л., Гаркавенко Ю. Е., 2019). Все эти данные говорят об актуальности коррекции разницы в длине конечностей и устранения деформаций у детей (Шевцов В.И., 1998; Аранович А.М. с соавт., 2005; Попков А.В., 2011; Angelini A. et al., 2020; Nichols L.R.V., 2021).

Использование методики временной блокировки зон роста (эпифизиодез) является наиболее частым вариантом устранения неравенства длин конечностей у детей. Этот метод устранения неравенства длин конечностей наиболее оптимален при разнице в длине ног от 2 до 5 см (Vogt B. et al., 2014). При применении данного метода важна оценка ожидаемой разницы в длине ног в результате лечения и пропорции конечностей по отношению к туловищу, которые могут нарушиться при сдерживании роста одной из конечностей. Также частым осложнением в ходе проведения методики является отклонение механической оси удлиняемой конечности (Kievit A.J. et al., 2013; Vogt B. et al., 2014). Частота этих осложнений находится в прямой зависимости от величины разницы в длине конечностей, а

также возраста ребенка (прогнозирование тем сложнее, чем младше ребенок). В исследовании Lee W. и соавторами (2018) показали, что при коррекции разницы в длине конечностей методом временного эпифизиодеза у детей в возрасте 12 лет при оценке результата через 2 года разница в длине сегментов сохранялась на величину 1,8–3,6 %. Несмотря на успехи в лечении заболеваний костно-мышечной системы у детей при коррекции большого укорочения и сложных деформаций, финальную коррекцию оси конечности и восстановления её длины проводят после закрытия зон роста (Whitaker A.T., 2016), что определяет актуальность коррекции деформаций и удлинения конечностей при врожденных заболеваниях у взрослых (Шевцов В.И., 1998; Аранович А.М. с соавт., 2005; Vargas Barreto B. et al., 2007).

Еще одним аспектом рассматриваемой проблемы можно считать понятие «субъективно малого роста». Природа данной проблемы имеет сугубо социальный характер, связанный в первую очередь с культурологическими особенностями в той или иной местности (Watts J., 2004). В связи с ростом спроса на эстетические вмешательства в целом, закономерно и развитие рынка медицинских услуг. Решение данной задачи рассматривают в первую очередь в рамках эстетической хирургии нижних конечностей. Особенностью данного раздела медицины является выполнение хирургических вмешательств у совершенно здоровых людей, при этом пациент определяет показания к удлинению, а также непосредственно участвует в коррекции и оценивает результат (Кулеш П.Н., 2013; Артемьев А. А., 2021).

Независимо от этиологии развития укорочения наиболее часто выделяют следующие функциональные и анатомические последствия: боль в пояснице, деформацию позвоночника, нарушения походки, остеоартроз тазобедренного или коленного суставов (Артемьев А. А., 2003; McCaw S.T. et al., 1991; Dahl M.T., 1996; Harvey W., 2010; Tallroth K. et al., 2017; Vogt B. et al., 2020). Влияние неравенства длин конечностей на развитие боли в пояснице и деформацию позвоночника чаще всего связывают с наклоном и торсией таза (Betsch, M., 2012). Однако, ряд авторов не указывают на разницу в длине конечностей как фактор риска развития боли в спине (Nourbakhsh M. et al., 2002). Тем не менее, обычно считается, что разница в длине конечностей более 9 мм приводит к асимметричной нагрузке и хроническим

функциональным изменениям в позвоночнике (Kendall J.C. et al., 2014). Отмечают, что разница в длине конечностей в значении до 1 см повышает риск развития гонартроза (Harvey W., 2010) и коксартроза как на «длинной», так и на «короткой» стороне (Tallroth K. et al., 2017). А разница более 1 см характеризуется повышенной частотой эндопротезирования тазобедренного (на «длинной» стороне) и коленного суставов (на «короткой») (Tallroth K. et al., 2017). Так же разницу в длине нижних конечностей более 1 см связывают с появлением асимметрии походки. По мере увеличения разницы в длине более заметной становится хромота (Khamis S. et al., 2017). При разнице в длине конечностей до 2-х см возможно компенсация с использованием ортопедических стелек. Считается, что компенсация обувью должна применяться при разнице более 3–4 см (Малахов О.А., 2008). В закрытой обуви коррекция разницы до 5 см может быть достигнута за счет увеличения подошвы (Nefti F., 2006). Поднятие обуви на величины превышающие 5 см связано с увеличением нестабильности коленного и голеностопного суставов, поэтому использование ортезов становится обязательным. Компенсация больших укорочений практически всегда приводит к относительному эквинусу и нарушению функции голеностопного сустава (Nefti F., 2006). Компенсация укорочения с помощью ортопедических приспособлений не является патогенетически оправданной так как не устраняет недостаток, а лишь служит для его скрытия. Поэтому подробнее остановимся на хирургическом лечении неравенства длин конечностей.

### **1.2. Этапы развития хирургического удлинения конечностей.**

За последнее столетие хирургические методики удлинения длинных костей конечностей прошли длительный путь от одномоментного удлинения сегмента, удлинения во времени с использованием внешней фиксации, использованием внутрикостных дистракторов и комбинированных методик. На современном этапе у взрослого населения актуальными момент остаются три последние из них.

### **1.2.1. Одномоментное удлинение.**

История одномоментного удлинения конечностей берет начало в 19 веке и связана с попытками хирургов устранить последствия неправильно сросшихся переломов диафиза бедренной кости. Технически результат достигался удлинением конечности в ходе одноэтапной удлиняющей остеотомии. Впервые такие операции описаны Лангенбеком (1869 г.), Хопкинсом и Пенроузом (1889 г.), Эйзельбергом (1897 г.) (Jordan C.J. et al. 2013). На современном этапе хирургии развитие предшествующих идей нашло продолжение в работах Fassett F. (1918 г.), который разработал оригинальную методику одноэтапного удлинения бедренной кости. Он отмечал возможность удлинения на 3 см бедренной кости в ходе операции, используя введение костного трансплантата (костных чипсов) и фиксацией пластиной. Однако эта методика сопровождалась множеством серьезных осложнений и не нашла признания (Fassett F., 1918). В современной практике травматологии и ортопедии одномоментные удлинения сегментов конечностей практически не используются ввиду высокого риска развития таких осложнений как тракционные повреждения сосудов и нервов, потеря коррекции, замедленная консолидация, формирование ложного сустава. Одним из вариантов применения одномоментного удлинения конечности при патологии крупных суставов является тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава с восстановлением длины сегмента. Но по данным исследований удлинение более 8,7% длины бедренной кости, имеют высокий риск развития осложнений (Kabata T. et al., 2019).

### **1.2.2. Развитие методик удлинения дистракцией во времени.**

Одним из первых, кто применил скелетное вытяжение для удлинения костей, был Alessandro Codivilla. Первая публикация на данную тему была опубликована в 1905 г. (Codivilla A., 2008). В своей публикации он описывал оригинальную методику удлинения бедренной кости: через пяточную кость больного проводился стержень, больного укладывали на специальную дистракционную кровать. Далее пациенту производили косую остеотомию бедренной кости, после чего прикладывали дистракционное усилие. При небольших значениях укорочения

Codivilla рекомендовал одномоментное удлинение конечности. При больших значениях предлагал дистракционное усилие 25–30 кг, далее на пациента накладывали гипсовую повязку по типу «спики» (грудная клетка-таз-нижняя конечность) обязательно включая в повязку пяточный стержень. При условии, что необходимой длины не удалось получить, освобождали бедро на уровне остеотомии, производили повторную тракцию 25–30 кг на каждый из этапов удлинения. По данным автора необходимую длину конечности удавалось получить через 20 дней. В своей публикации автор описывает результат лечения 26 пациентов с величиной укорочения от 3 до 8 см. Осложнения при использовании этой техники включали поражения нервов, повреждения кожных покровов и неконтролируемые стойкие судороги. Несмотря на все недостатки метода на данном этапе развития ортопедии он дал наиболее значимые результаты по сравнению со всеми предшествующими.

Продолжателем идей Codivilla стал его ученик Vittorio Putti, который опубликовал в 1921 г. (Jordan C.J. et al., 2013; Birch J.G., 2017) свои результаты удлинения бедренной кости. Он предложил принцип «продолжающейся тракции», как противодействие сопротивлению мягких тканей на растяжение. Технической особенностью методики, предложенной автором, был специально разработанный механизм фиксации костных фрагментов - «остеон», представляющий собой 2 стержня фиксирующихся бикортикально в бедренной кости и соединенных между собой телескопической трубкой, являющийся прообразом всех современных монологатеральных аппаратов внешней фиксации. V. Putti производил Z-osteotomy. Далее устанавливался «остеон» и осуществлялась тракция в течение 30 дней. Через месяц дистракции больного гипсовали до полной консолидации. Средняя величина удлинения составила 8 см. В ходе дистракции были отмечены случаи вырывания стержней из кости (Jordan C.J. et al., 2013). Автор отмечал преимущества разработанного аппарата: отсутствие давления на кожу; доступность раны для осмотра хирургом; возможность обеспечения более удобного положения конечности с легким сгибанием в тазобедренном и коленном суставах (а не с полным разгибанием конечности, как предлагал Codivilla).

Следующий этап в удлинении нижних конечностей нашел свое отображение в трудах L. Abbot и J. Saunders (Jordan C.J. et al., 2013; Birch J.G., 2017; Hosny G.A., 2020). L. Abbot (1927) первоначально описал методику применения полуциркулярного внешнего фиксатора с использованием 4-х стержней (по 2 в каждый фрагмент кости). Авторы представили свой опыт удлинения нижних конечностей у 73 пациентов (45 удлинений большеберцовой кости). Возраст больных был в интервале от 8 до 19 лет. Величина удлинения большеберцовой кости была в интервале от 3,81 до 8,89 см (Abbott L.C., 1932). Основными принципами, изложенными в этой статье, были: медленная непрерывная тракция, точный контакт и выравнивание оси кости. Операционные этапы включали: удлинение ахиллова сухожилия, остеотомию малоберцовой кости, введение спиц, наложение аппарата, остеотомию большеберцовой кости и ушивание раны с дренированием. Остеотомия большеберцовой кости должна была быть выполнена с минимальным рассечением мягких тканей, чтобы сохранить кровоснабжение кости и предотвратить инфекцию. После хирургического этапа ожидали 1 неделю, пока спадет отек, прежде чем начинать дистракцию. Средняя скорость дистракции составила 1,6 мм в сутки, а период дистракции составлял от 4 до 5 недель. Аппарат оставляли на 8–10 недель с последующим снятием и наложением гипсовой повязки. Последующие рентгеновские снимки проводились каждые 2–3 недели до консолидации. Также авторы впервые подробно описали осложнения, возникшие в ходе удлинения.

В 1932 г. Dickson и Divelet сообщили о применении техники Abbot, но при использовании которой применяли вместо стержней-шурупов спицы Киршнера, чтобы свести к минимуму повреждение мягких тканей и для более точного контроля положения отломков (Jordan C.J. et al., 2013).

Аппарат Илизарова был предложен в 1951 г., успешно применен в 1953 г., а первые публикации, посвященные тематике удлинения конечности, датируются 1963 г. Основными принципами, сформулированными Г.А. Илизаровым были: малая травматичность вмешательства, максимальное сохранение кровоснабжения костных фрагментов, стабильность фиксации, ранняя активизация, реабилитация и

восстановление функции (Илизаров Г.А., 1971). Последовавшие работы по его применению в различных клинических ситуациях вылились в основополагающий закон реконструктивной хирургии: «Общебиологического свойства тканей отвечать на дозированное растяжение ростом и регенерацией (эффект Илизарова)» (1988г.). Ввиду своей универсальности и воспроизводимости метод Илизарова до сего дня сохраняет высокую актуальность и обеспечивает широкий спектр решаемых проблем. Подробнее на методе мы остановимся далее.

С начала 1970-х до середины 1980-х широкое распространение получила методика, предложенная Н. Wagner (Wagner H., 1978). Им был предложен оригинальный аппарат молатеральный внешней фиксации для удлинения, который состоял из телескопической трубы квадратного сечения, которая была соединена с винтами Шанца (от 2 до 3), фиксированными параллельно друг к другу, удерживаемые зажимами, которые могли поворачиваться в 2 режимах, параллельно фиксатору и перпендикулярно ему. Это устройство позволяло пациенту передвигаться весь период фиксации. В хирургической технике он использовал агрессивный подход к остеотомии и собственно удлинению. В ходе вмешательства использовалась широкая резекция мягких тканей, включая круговой разрез надкостницы в месте остеотомии (сама остеотомия выполнялась моторизованной пилой), использовалась острая интраоперационная дистракция до «стабилизации», достигаемой натяжением мягких тканей (от 5 мм до 1–2 см), далее начиналась дистракция в темпе 1,5-3 мм в день до достижения необходимой длины удлиняемого сегмента. По достижении нужной длины выполнялся второй этап хирургического лечения: удаление внешнего фиксатора, установка специальной пластины с костной аутопластикой из гребня подвздошной кости. Третьим этапом удаляли установленную пластину по достижении сращения. Несмотря на активное распространение методики была отмечена высокая частота осложнений (переломы бедра, замедленная консолидация, формирование ложного сустава, инфекция в области хирургического вмешательства,) в ходе ее применения (Jordan C.J. et al., 2013; Birch J.G., 2017).

G. De Bastiani с соавторами (1987), отметив высокий уровень осложнений и ревизионных операций в ходе удлинения по методике Wagner, усовершенствовали методику удлинения конечностей за счет внедрения более удобных аппаратов внешней фиксации. И, что более важно, особое внимание они уделяли более щадящим методам хирургической техники, дистракции: остеотомия выполнялась после множественного рассверливания; отношение к окружающим тканям было бережным; дистракция начиналась в темпе 1 мм/день (с шагом  $\frac{1}{4}$  мм) с 10–15 суток после операции. Разработанный ими фиксатор Orthofix первоначально был предназначен для внешней фиксации переломов, но затем был адаптирован для дистракции. Однако в своих работах G. De Bastiani с соавторами явно опирались на работы Г.А. Илизарова.

### **1.2.3. Удлинение конечностей методом Илизарова.**

Наибольшую популярность и распространение получили аппарат и методика удлинения по Илизарову, ввиду своей воспроизводимости и универсальности оснащения, позволяющей решать основные проблемы при удлинении сегментов конечностей (Губин А.В., 2019; Солдатов Ю.П., с соавт., 2019; Попков А.В. с соавт., 2022; Jordan C.J. et al., 2013; Goldstein R.Y. et al., 2013; Hosny G.A., 2020; Morrison S.G. et al., 2020;). Также методика Илизарова не требует предварительной коррекции оси сегмента и стабилизации смежных суставов, дополнительные этапы коррекции возможны непосредственно в ходе удлинения (Шевцов В.И., 1998).

В клинической практике в связи с широким использованием ЧО сформировало единые принципы оценки результатов удлинения сегментов конечностей. При использовании чрескостного остеосинтеза выделяют: период чрескостного остеосинтеза (ПЧО) — период времени от установки аппарата внешней фиксации до его демонтажа измеряющийся в днях. В структуре ПЧО выделяют: латентный период (ЛП) — период времени от операции до начала дистракции; периоды дистракции (ПД); период фиксации (ПФ) — от окончания дистракции и до снятия аппарата.





Рис. 1.1. Периоды чрескостного остеосинтеза

Для оценки результатов также используют следующие параметры: индекс дистракции (ИД) – количество дней дистракции на 1 см регенерата; индекс фиксации (ИФ) – количество дней фиксации на 1 см регенерата; индекс чрескостного остеосинтеза (ИЧО) – количество дней ношения внешней фиксации от момента операции до демонтажа аппарата на 1 см регенерата. В клинической практике установлена прямая корреляционная связь ИЧО от возраста пациентов (больше у пожилых пациентов), и обратно пропорционален величине дистракционного регенерата (Илизаров Г.А., 1971; Paley D., 1990; Попков А.В., 1991).

В ходе экспериментальных работ, выполненных Г.А. Илизаровым и его последователями, был детально изучен процесс формирования дистракционного регенерата. Уже в периоде дистракции формируется его зональное строение, сохраняющееся весь период его перестройки (Илизаров Г.А. с соавт., 1976,1991; Ирьянов Ю.М. с соавт., 2007; Ерофеев С.А. с соавт., 2014; Peltonen J. et al., 1988). Все структуры новообразованной ткани имеют продольную направленность. Морфологически в регенерате отмечено сохранение внутрикостного кровоснабжения. В структуре регенерата выделяют костные отделы и ростковую зону. Костные отделы регенерата расположены ближе к имеющим наиболее зрелую

костную ткань костным фрагментам. Они представлены костными балками с признаками оссификации. В средней части регенерата располагается ростковая зона, образованная ретикуло-фиброзной тканью с продольно расположенными волокнами, не меняющая свои размеры в ходе удлинения. Промежуточно между вышеописанными зонами имеются участки, представленные хрящевой тканью. В период фиксации происходит органотипическая перестройка регенерата – постепенное замещение на костную ретикуло-фиброзную и хрящевой ткани.

Традиционным способом удлинения по Илизарову является монолокальный дистракционный остеосинтез. Величина одноэтапного удлинения конечности у больных с укорочением лимитируется резервными возможностями сосудов и нервов, а также натяжением мышечно-фасциальных футляров. В экспериментальных исследованиях определен оптимальный темп и дробность дистракции (Илизаров Г.А. с соавт., 1984), составляющая 1 мм в сутки за 4 приема, а также определена оптимальная величина удлинения для монолокального удлинения, которая не должна превышать 23-25% от исходной длины сегмента (Реутов, А.И., 2002).

Дальнейшим этапом развития методики удлинения конечностей по Илизарову стал билокальный дистракционный остеосинтез, предложенный Г. А. Илизаровым в 1977 г. Экспериментальные работы, посвященные данному способу, показали его положительное влияние на костеобразование (Илизаров Г. А., Щуров В. А., 1988). Последние экспериментальные работы показывают, что возможно одноэтапное увеличение длины на 50% от исходной. При этом сохраняется гистоструктура мышц удлиненного сегмента при соблюдении темпа в 1 мм на каждом уровне (Реутов, А.И., 2002). Удлинение при билокальном дистракционном остеосинтезе позволяет достичь необходимой длины быстрее, чем при монолокальном удлинении. Хотя темп дистракции на каждом из уровней составляет 1 мм/сутки, отмечается некоторое несоответствие в темпе дистракции и величины диастаза на уровне проксимальной остеотомии (Попков А. В. С соавт., 2000). В ходе клинического применения билокального дистракционного остеосинтеза отмечено, что дистракционный остеогенез активизировался несмотря на двойной

дистракционный темп. По результатам исследований отмечено снижение сроков консолидации регенератов (Гореванов Э. А., 2003). Также отмечено, что при билокальном удлинении свыше 4 см уменьшается индекс чрескостного остеосинтеза (Илизаров Г.А., 1971; Попков, А.В., 1991; Шевцов В. И., 1998; Артемьев, А.А., 2018).

Еще одним направлением в развитии метода Илизарова стало исследование возможностей дистракции в высокодетальном режиме. В 1980 г. Г. А. Илизаровым с соавторами был получен патент на первое дистракционное устройство, позволяющее автоматически осуществлять круглосуточную дистракцию. Последовавшие экспериментальные работы и клинические наблюдения выявили, что усилия на аппарат в ходе удлинения нарастают плавно, обеспечивая безболезненность дистракции, снижая или вовсе исключая отеки и нарушения иннервации удлиняемого сегмента, создавая оптимальное функциональное состояние удлиняемой конечности. Преимуществом также являлся, облегченный контроль за процессом. Однако, ряд работ указывает на возможность повышения темпа и дробности дистракции в автоматическом режиме до 2–3 мм за 120 приемов (Ерофеев, С. А., 1994; Горбач Е.Н. с соавт., 2013, 2017). В целом данная технология создает оптимальные условия для пролонгированного костеобразования и получила фундаментальное научно-теоретическое обоснование (Ерофеев, С. А., 1994; Илизаров Г. А., Ерофеев С. А., 1995; Горбач Е.Н. с соавт., 2013, 2017).

Основными тенденциями в современной практике использования метода Илизарова заключается в сокращении ПЧО. С целью сокращения сроков внешней фиксации при использовании метода Илизарова в настоящее время используются различные варианты стимуляции репаративного остеогенеза. Шевцов В.И. (2021) выделяет следующие варианты стимуляции: механическая (постепенная или одномоментная компрессия); биомеханическая (использование интрамедуллярных спиц, с гидроксиапатитным покрытием); фармакологическая (используются репаратанты, биостимуляторы, миорелаксанты, витамины); физическая (гипербарическая оксигенация, импульсный низкочастотный ультразвук); биологическая (использование плазмы или стволовых клеток костного мозга пациента). При этом

автор указывает на эффективность каждого из методов стимуляции в той или иной мере в зависимости от клинической ситуации при их применении по показаниям. И рекомендует широкое внедрение удлинение длинных сегментов конечностей аппаратом Илизарова с интрамедуллярным введением спиц с distraction осуществляемой в автоматическом режиме. Об эффективности интрамедуллярного армирования при distractionном остеогенезе также указывают ряд экспериментальных и клинических исследований (Попков Д. А., Ерофеев С. А., 2004; Шевцов В. И. с соавт., 2004; Paley D. et al. 1997). В этих работах авторами указано на то, что присутствие эластичных интрамедуллярных стержней с биоактивным покрытием оказывает стимулирующее действие на остеогенез (Попков Д. А., 2004; Попков А. В., 2015) и приводит к более раннему формированию новообразованной кости и прекращению внешней фиксации. Особое значение интрамедуллярное армирование приобретает при устранении деформаций и укорочений у пациентов с несовершенным остеогенезом (Мигапов Э.Р. с соавт., 2019; Попков Д. А., Мингапов Э. Р., Губин А. В., 2021). Кроме того, после демонтажа аппарата и до наступления опороспособности новообразованной кости интрамедуллярные импланты предотвращают вторичные деформации и переломы на уровне удлинения, позволяя начать раннюю активизацию и восстановительное лечение.

Несмотря на все неоспоримые преимущества метода Илизарова, он все же не лишен недостатков в виде громоздкости аппарата внешней фиксации, длительности внешней фиксации, необходимости контроля всех этапов лечения со стороны медицинского персонала и трудоемкости ухода. Все эти факторы ухудшают качество жизни пациента (Каленский В.О., Иванов П. А., 2013; Щуров В.А. с соавт. 2017; Paley D. et al. 1997). Поэтому в процессе лечения больше внимания уделяется возможности сократить ПЧО, тем самым повысить качество жизни пациентов. Исследования, направленные на стимуляцию процессов репаративного остеогенеза показали, что сочетание аппарат внешней фиксации с интрамедуллярными фиксаторами не угнетают эти процессы, что дало толчок в развитии комбинированных методик применения внешней и внутренней фиксации,

позволяющей использовать преимущества погружного и чрескостного остеосинтеза.

#### 1.2.4. Комбинированные методики удлинения.

На настоящий момент можно выделить 2 методики удлинения, в которых на комбинированной или последовательной основе используются внутренняя и внешняя фиксация:

1. Комбинированные методики: удлинение вдоль пластины - Lengthening along the plate; удлинение поверх гвоздя - Lengthening Over the Nail- LON;

2. Последовательные методики: удлинение затем пластина - Lengthening and then Plating; удлинение затем гвоздь - Lengthening and then Nailing.

Внедрение этих технологий в клиническую практику внесло изменения в оценке периодов ЧО. Коррекция в первую очередь коснулась срока (в днях) от начала внешней фиксации до выявления рентгенологического признака формирования «трех кортикальных пластинок» - переход к полной нагрузке аналог демонтажа аппарата при ЧО. Также вводится термин - период консолидации (ПК), который включает ПЧО и период внутренней фиксации. Соответственно на 1 см регенерата в днях определяют ИЧО и индекс консолидации (ИК). Подробнее рассмотрим каждую из методик.

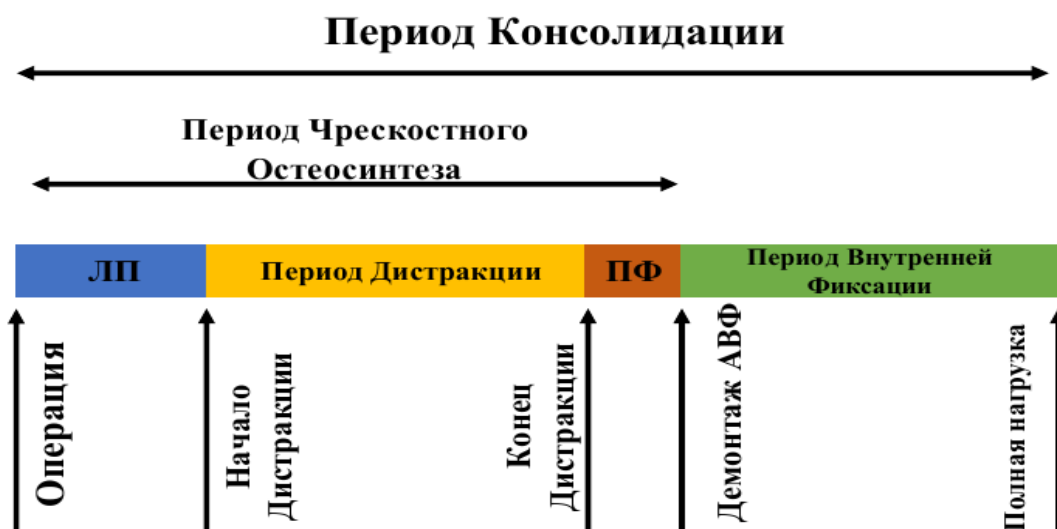


Рис. 1.2. Периоды при комбинированных и последовательных методиках.

*Удлинение кости поверх интрамедуллярного стержня.*

Впервые удлинение бедренной кости с использованием аппарата внешней фиксации и интрамедуллярного фиксатора (гвозди Раша) выполнено F. Vost и L. Larsen (1956), которые имплантировали фиксатор для предотвращения угловой деформации в ходе дистракции интрамедуллярно в бедренную кость. Технология не предусматривала блокирования фиксатора в канале бедренной кости. Внешняя конструкция дистрактора сохранялась на пациенте весь период лечения. В своей публикации авторы были не удовлетворены высоким уровнем осложнений. В современном виде методику удлинения поверх гвоздя для бедренной кости предложил D. Paley (1997). В этот же период времени происходило активное развитие методики, разработаны принципы её применения для большеберцовой кости (Lin C. et al. 1996). Далее последовали публикации с положительным опытом применения УПГ (Simpson A. et al., 1999; Kristiansen L.P. et al., 1999). Технической особенностью при применении методики является тангенциальное проведение чрескостных элементов. Проведение стержней шурупов и спиц при УПГ большеберцовой кости для исключения конфликта с гвоздем не вызывает больших сложностей, то на бедренной кости избежать конфликта сложнее (Paley D. et al., 1997; Kocaoglu M. et al., 2004). Конфликт чрескостного элемента с интрамедуллярным стержнем приводит к заклиниванию последнего. Вовремя не устраненное заклинивание в свою очередь приводит к преждевременной консолидации регенерата. По данным литературы данное осложнение встречается при УПГ от 7,1% до 14,3% (Paley D. et al., 1997; Kocaoglu M. et al., 2004; Fernandes H.P., 2016; Farsetti P. et al., 2019). Для решения в том числе и данной проблемы разработан экстракортикальный фиксатор (ЭФ), который в отличие от стандартных чрескостных элементов не проникает в костномозговую полость, что исключает конфликт между ним и интрамедуллярным стержнем (Соломин Л.Н., 2015). Также использование ЭФ показало, что его клиническое применение не влияет на частоту развития осложнений и не снижает жесткость остеосинтеза (Соломин Л.Н., 2015; Сабиров Ф.К., 2015). Однако жесткость фиксации костных фрагментов для полной

компоновки чрескостного аппарата с ЭФ исследовалась только на моделях без комбинации со стандартными чрескостными элементами и без учета введенного интрамедуллярного стержня. Клинические же рекомендации для применения ЭФ в настоящий момент разработаны в виде использования двух модулей внешней фиксации с применением 2-х ЭФ в каждом для  $c/3$  диафиза бедренной кости (Сабилов Ф.К., 2016) и требует дальнейшего совершенствования.

По завершении distraction в ходе применения методики производят блокирование стержня, аппарата внешней фиксации демонтируют (Fragomen A.T. et al., 2018; Farsetti, P. et al., 2019). В работах С. Lin (1996) и М.Н. Song (2019) рекомендуют сохранять внешнюю фиксацию до появления рентгенологических признаков формирования участков оссификации в регенерате. В среднем авторы указывают на длительность этого срока до 1 месяца. D. Paley (1997) для обеспечения стабильности при коротком интрамедуллярном стержне или для ранней разработки движений в коленном суставе рекомендовал сохранять АВФ до 1–2 месяцев. Несмотря на указанные выше рекомендации ряда авторов при использовании методики УПГ отмечено сокращение от 3 до 5 раз ПЧО (Хоминец В.В. с соавт., 2021; Paley D. et al., 1997; Chaudhary M., 2008; Sun X.T. et al., 2011; EL-Husseini T.F. et al., 2013; Burghardt R. D. et al., 2017), что прямопропорционально частоте характерных для чрескостного остеосинтеза осложнений (воспаление в области чрескостных элементов, контрактуры суставов, перелом чрескостных элементов), вызывая их снижение (Paley D. et al., 1997; Simpson A. et al., 1999; Kristiansen L.P. et al., 1999; Chaudhary M., et al. 2008; Sun X.T., 2011; EL-Husseini T.F., 2013; Farsetti, P. et al., 2019). Демонтаж аппарата повышает реабилитационные возможности у пациентов (Song М.Н., 2019). Отмечено, что методика УПГ после демонтажа аппарата исключает деформации регенерата.

При УПГ бедра интрамедуллярный фиксатор располагается вдоль анатомической оси по ней же происходит и удлинение. Из-за разницы в расположении анатомическая и механическая оси бедренной кости при удлинении возможно формирование вальгусной деформации конечности. В ходе предоперационного планирования это обстоятельство должно, также важно

учитывать и наличие дополнительных компонентов деформации (Baumgart R. et al., 2009). Хотя данных о возникновении деформаций при удлинении бедра на стержне в большинстве публикаций нет (Song H.R. et al., 2005; Watanabe K. et al., 2005; Park H.W., 2008; Guo Q., 2012; Farsetti P., 2019), для предотвращения и исправления подобных деформаций в ходе удлинения на стержне рядом авторов рекомендуется установка поллерных (ограничивающих) винтов (Kim J.H. et al., 2011; Kim S.J. et al., 2012; Fragomen, A.T., 2017; Nguyen Van L., 2021). В случаях УПГ при ретроградной установке интрамедуллярного стержня в бедренной кости без дополнительных компонентов деформации было замечено, что ограничивающие винты предотвращают деформации, возникающие в процессе удлинения (Furmetz, J., 2017). В случаях одновременной коррекции угловой деформации перед удлинением, ограничивающие винты эффективно помогают выполнить одномоментное устранение угловой деформации и предотвратить вторичную деформацию по мере удлинения (Muthusamy, S., 2016; Nguyen Van L., 2021).

В настоящее время при установке ограничивающих винтов используется техника “свободной руки”. Данная техника имеет ряд недостатков в виду необходимости постоянного рентгенконтроля положения сверла и проведенного ограничивающего винта, что не только затягивает время оперативного вмешательства, но и повышает лучевую нагрузку на пациента и медицинский персонал. При активном внедрении методики в широкую клиническую практику этот аспект методики требует технического решения для упрощения её применения.

#### *Удлинение кости поверх накостной пластины.*

Удлинение длинных костей нижних конечностей поверх гвоздя имеет ограниченные возможности в педиатрической практике, а также у пациентов с наличием узкого (и) или склерозированного интрамедуллярного канала вследствие как врожденных, так и приобретённых заболеваний костно-мышечной системы. В качестве альтернативы в последние годы в ряде работ используется комбинированная методика «удлинение поверх пластины» (Tosun H.V. et al., 2016; Munajat I. et al., 2020; Liu K.Y. et al., 2022), которая также направлена на снижение периода чрескостного остеосинтеза и связанных с этим осложнений. В ходе



выполнения методики выполняется установка по малоинвазивной методике пластины, её блокирование с одной стороны и окончательное блокирование после достижения необходимой длины, при этом использовались как правило моносторонние аппараты внешней фиксации. В первых публикациях по этой теме (Endo H. Et al., 2008; Oh C.W. et al., 2009) отмечено использование стандартных пластин, однако, в ходе distraction отмечались угловые деформации, необходимо было использовать конструкции максимально возможной длины для обеспечения жесткой фиксации по окончании distraction. Все это вылилось в разработке специализированных пластин с прорезью для реализации данной методики. Специализированные накостные фиксаторы позволяют при помощи винта, введенного в прорезь, избегать вторичных деформаций и контролировать величину удлинения сегмента (Tosun H.V. et al., 2016). Однако, все клинические исследования проведены на небольшом числе пациентов, каждый из авторов предлагает свой вариант накостного фиксатора (ни один из которых не сертифицирован на территории РФ), всё же методика имеет ограниченное применение в основном в педиатрической практике. Хотя и имеются экспериментальные данные об отсутствии негативного влияния накостного фиксатора на формируемый регенерат (Степанов М.А. с соавт., 2016) немногочисленность клинических наблюдений необходимы углубленные доклинические и клинические исследования.

*Последовательное использование чрескостного и блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза.*

Методика последовательного применения интрамедуллярного остеосинтеза после удлинения сегмента в аппарате внешней фиксации (Удлинение затем гвоздь – УЗГ) отличается от методики УПГ наличием второго достаточно травматичного вмешательства. Интрамедуллярный остеосинтез технически гораздо сложнее при наличии ранее установленного аппарата внешней фиксации, чем монтаж аппарата при имеющемся стержне. При монтаже аппарата внешней фиксации дальнейшее введение стержня должно учитываться при проведении ЧЭ, что довольно сложно технически (Челноков А.Н. с соавт., 2015; Rozbruch S.R. et al., 2008).

Интрамедуллярный остеосинтез в ходе реализации методики часто сопровождается в процессе операции с перепроведением чрескостных элементов (Колчин С.Н., 2015; Челноков А.Н., 2015). Так как вводится интрамедуллярный стержень непосредственно через регенерат, при подготовке канала просверливание этой зоны не показано (Rozbruch S.R. et al., 2008). Хотя в публикациях и не отмечено негативное влияние фиксатора на полученный регенерат (Rozbruch S.R. et al., 2008; Emara K. et al., 2011), однако, во избежание замедленной консолидации костную пластику области регенерата некоторые авторы всё же рекомендуют выполнять (Wu C.C., 2003).

Отдельным моментом в применении методики УЗГ является риск глубокой инфекции. Clasper J.C. с соавт. (2001) в ходе эксперимента на животных показал, что при наличии воспаления в области чрескостных элементов переход на интрамедуллярную фиксацию во всех случаях приводил к глубокой инфекции. Хотя в последующих клинических исследованиях не было показано высокого риска глубокой инфекции при отсутствии признаков воспаления в области чрескостных элементов (Колчин С. Н., 2015; Rozbruch S.R. et al., 2008; Emara K. et al., 2011). УЗГ так же, как и УПГ сокращает время фиксации аппаратом, но при этом с учётом всех особенностей методики УЗГ, технических сложностей её реализации в клинической практике данная методика применяется значительно реже.

Применение методики последовательного применения накостного остеосинтеза после удлинения сегмента в аппарате внешней фиксации (удлинение затем пластина) рекомендуется в педиатрической практике, а также у пациентов с наличием узкого интрамедуллярного канала ограничивающее использование интрамедуллярного стержня (Harbacheuski R. et al., 2012; Nguyen Van L., 2023). Данная техника не нашла широкого применения в клинической практике и содержит единичные публикации с небольшим количеством клинических случаев. Однако, даже на данном материале авторы отмечают довольно большой процент варусных деформаций на пластине и указывают о необходимости использования специального импланта с повышенной прочностью (Harbacheuski R. et al., 2012).

### **1.2.5. Удлинение при помощи внутренних дистракторов.**

А. И. Блискунов в 1983 г. запатентовал полностью имплантируемым интрамедуллярный гвоздь-дистрактора, с этого момента берет свое начало удлинение сегментов конечности без использование внешней фиксации. Особенностью импланта была механическая система с использованием храпового механизма, фиксирующаяся к подвздошной кости проксимально. Дистракция осуществлялась посредством ротационных движений бедра. В последующем техника применения была усовершенствована и находит свое применение и в настоящий момент (Куценко С.Н., 2009, 2017). Схожий принцип был использован в стержне Albizzia, разработанный во Франции (Guichet J.M. et al. 1997). Стержень также содержал храповый механизм и приводился в движение ротационными движениями бедра ( $30^\circ$ ), однако в отличие от дистрактора Блискунова фиксировался стержень только в бедренной кости посредством блокирующих винтов. В 2001 г. J. Cole предоставил результаты применения разработанного «The intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD)». ISKD также использовал механическую систему и фиксировался в бедренной кости посредством блокирующих винтов, но отличался гораздо меньшей амплитудой ( $3-9^\circ$ ) ротационных движений необходимых для приведения дистрактора в движение. Недостатком всех механических систем отмечают (Lee D.H. et al., 2014) невозможность точного контроля дистракции. Однако, широкое клиническое применение интрамедуллярные дистракторы получили с появлением электромеханического (FITBONE) и магнитного (PRECICE) приводов (Baumgart R., 1997, 2009; Küçükkaya M. et al., 2015; Paley D., 2015; Wagner P. et al. 2017; Leblanc C. et al., 2023). Данные конструкции позволяют обеспечить точную дистракцию и показали хорошие результаты лечения пациентов. Однако, сложность дистракционных систем имеет и обратную сторону в виде высокой частоты ( $6,2\% - 12\%$ ) их поломки (Frost M.W. et al., 2021; Burghardt R. Et al., 2011; Calder P.R. et al., 2022). Также большим недостатком интрамедуллярных дистракторов можно считать их прямую телескопическую форму. Поэтому противопоказанием к применению интрамедуллярных дистракторов является наличие у пациента узкого

костномозгового канала и(или) изгиба анатомической оси бедренной кости в сагиттальной плоскости, выходящего за референтный интервал. Риск вальгусной деформации характерен и при данном способе удлинении бедренной кости, данное обстоятельство должно быть учтено при предоперационном планировании (Baumgart R., 2009).

Интрамедуллярные дистракторы по данным мировой литературы снижают частоту осложнений по сравнению с удлинением по Илизарову и комбинированными методиками в 2–2,5 раза (Fragomen A.T. et al., 2018). Хотя имеется отдельный пласт осложнений характерных непосредственно для данного типа конструкций – неисправность привода, что большинством авторов указывается как довольно сложное, оказывающее влияние на конечный результат лечения (Mahboubian S. et al., 2012; Lee D.H. et al., 2014; Fragomen A.T. et al., 2018; Navitcioglu H. et al., 2020; Vogt B. et al., 2020). Однако, в работах, посвященных применению внутренних дистракторов, количество осложнений имеет тенденцию к снижению (Vogt B. et al., 2020), что можно связать с уточнением показаний к применению методики.

Несмотря на все плюсы применения внутренних дистракторов главным недостатком, который отмечают и в зарубежной литературе, остается их высокая стоимость (Song H.R. et al., 2005; Richardson S.S. et al., 2019) на 30 % превышающая стоимость лечения при применении методики УПГ.

На территории же Российской Федерации интрамедуллярные дистракторы не сертифицированы и в клинической работе не применяются.

### **1.3 Особенности дистракционного остеогенеза при комбинированных методиках удлинения.**

В эксперименте на животных показано, что 62% толщины кортикальной пластинки диафизарной кости снабжаются кровью через систему внутрикостной питательной артерии (Eitel F. et al., 1981; Reichert, I.L. et al., 1995). Г.А. Илизаров (1979) особое внимание при выполнении остеотомии уделял сохранению медуллярного кровоснабжения. В ходе дальнейших исследований важность

сохранения медуллярного кровоснабжения в формировании и перестройке регенерата подтверждалась (Лаврищева Г.И. с соавт., 1985, 1996; Ерофеев С.А., 2014; Горбач Е.Н, 2017; Morgan F.E. et al., 2012). Однако, Н. Kojimoto с соавторами (1988) на модели кролика, продемонстрировали, что надкостница играет подчас более важную роль, чем эндост, в формировании и перестройке дистракционного регенерата. Некоторые клинические исследования (Brutscher R., 1993) также показали, что остеотомия и кортикотомия одинаково эффективны, и ни одна из процедур не влияет на последующее заживление удлиненного сегмента. Ю.М. Ирьянов (2007) и F. Fu (2017) указывают в своих публикациях важность периостального кровоснабжения в органотипической перестройке регенерата. При выполнении УПГ установка стержня сопровождается римированием костномозгового канала, интрамедуллярный остеосинтез сам по себе предусматривает неизбежность серьезного нарушения внутрикостного кровообращения, что было подтверждено экспериментально (Klein M.P. et al., 1990; Sitter T. et al., 1990; Reichert I. et al., 1995; Bragdon B., 2015). Однако, есть исследования подтверждающие, что периостальное кровоснабжение увеличивается после введения интрамедуллярного стержня (Trueta J., 1974; Klein M.P. et al., 1990).

В настоящее время имеется ограниченное количество экспериментальных работ на лабораторных животных с целью исследования дистракционного регенерата, полученного при помощи внутреннего дистракционного устройства (Guichet J. et al., 1992; Caton J. et al., 2001) или при методике УПГ (Степанов М.А. с соавт., 2010; Еманов А.А. с соавт., 2013; Ерофеев С.А., 2014; Li G. et al., 1999; Wendelburg K.M. et al., 2011). Анализ гистологической картины полученных таким образом регенератов показывает нарушения жизнеспособности клеток, снижение васкуляризации регенерата в эндостальной зоне, снижение объема и плотности костной ткани, ухудшение и отставание в формировании костных трабекул, т.е. на начальных этапах формирования регенерата отмечается ухудшение энхондрального остеогенеза (Еманов А.А. с соавт., 2013; Ерофеев С.А., 2014; Li G. et al., 1999). В ряде других исследований авторы не отмечают негативного влияния наличия

инородного тела в костномозговом канале на получаемую форму и структуру регенерата (Степанов М.А. с соавт., 2010; Caton J. et al., 2001; Wendelburg K. et al., 2011). Формирование трабекулярных структур, в этих исследованиях происходила за счет надкостницы, которая характеризовалась наличием развитой сосудистой сети. При этом динамика формирования кортикальной кости имела схожие темпы с удлинением без интрамедуллярного фиксатора. В конце эксперимента в структуре регенерата присутствовала типичная зональность (Степанов М.А. с соавт., 2010; Еманов А.А. с соавт., 2013; Li G. et al., 1999). В клинической практике схожие выводы можно сделать и на основе рентгенологических методов исследования. В ряде исследований при сравнении сороков органотипической перестройки регенератов в ходе применения методики УПГ и при удлинении по Илизарову отличий не выявили (Еманов А.А. с соавт., 2014; Muzaffar N. et al., 2011; Vulcano E. et al., 2018). Однако, по классификации R. Li (2006) имелись отличия в форме и структуре полученных регенератов: веретенообразная форма и гетерогенная структура при удлинении по Илизарову; цилиндрическая форма и гомогенная структура при УПГ (Muzaffar N. et al., 2011; Sun X.T. et al., 2011).

В ходе экспериментальных исследований с моделированием удлинения на интрамедуллярных фиксаторах были использованы стандартные либо несколько измененные стандартные интрамедуллярные блокируемые стержни, использующиеся в клинике. Исследования проводились на ограниченных сериях крупных животных (овцы, козы, собаки). Для более детальной оценки гистологической и морфологической картины в ходе дистракционного остеогенеза на интрамедуллярном фиксаторе требуются большие серии исследований на лабораторных животных. Предпочтительнее выполнение такого рода исследований на инбредных животных небольших размеров. Соблюдение всех технических особенностей применения комбинированной методики удлинения, а именно блокирования интрамедуллярной конструкции сопряжено с большими техническими сложностями, ввиду невозможности использовать стандартные ортопедические импланты для применения на мелких животных. Поэтому

дальнейшее изучение методики УПГ в эксперименте требует разработки модели для изучения удлинения длинной кости поверх интрамедуллярного стержня.

#### **1.4. Осложнения при дистракционном остеогенезе**

На настоящий момент нет единой точки зрения в оценке осложнений при дистракционном остеогенезе на конечностях. Это касается и тяжести отмечаемых осложнений, и причисления определенных состояний к категории осложнений. Для оценки осложнений при удлинении конечностей, предложено несколько классификаций. Разработанная D.Paley (1990) классификация выделяет следующие виды осложнений: инфекция в области проведения чрескостных элементов, контрактуры (артрогенные и миогенные), вывихи и подвывихи, деформации, повреждения сосудов и (или) нервов, нарушения процессов консолидации (замедленная консолидация, ложные суставы, преждевременная консолидация), потеря длины, переломы, поломки металлоконструкций. По тяжести осложнения разделяли на «проблемы», «препятствия» или «трудности», и истинные осложнения или «последствия». К «проблемам» отнесены осложнения, для решения которых потребовались только консервативные мероприятия. Преимущественно это инфекция в области проведения чрескостных элементов и мышечные контрактуры. К «препятствиям» - осложнения, которые требовали дополнительных хирургических манипуляций в процессе лечения. К истинным осложнениям были отнесены интраоперационные повреждения; поздние осложнения, такие как потеря длины регенерата, вторичные деформации или перелом после демонтажа внешней фиксации, а также не решенные до окончания лечения «препятствия». Трактовка не решенных «препятствий», как и законченность случая в данной классификации очень неоднозначны. Собственную трехкатегорийную классификацию осложнений в ходе дистракционного остеогенеза предложил J. Caton (1991). Категория I – не имели осложнений или имели осложнения, которые были решены только консервативными мероприятиями и купированы к концу периода удлинения. Категория II – имели осложнения, при которых потребовались дополнительные хирургические

мероприятия, не предусмотренные на этапе планирования; при этом данные осложнений не повлияли на величину удлинения и лечение было выполнено в запланированном объеме. Категория III – осложнения, при которых остались последствия и/или планируемый результат удлинения достигнут не был. Пациентов, у которых были 2 и более осложнений относили к более тяжелой категории. А. В. Попков (1991) выделял следующие виды осложнений: костные, суставные, инфекционные, нейро-сосудистые. По степени тяжести подразделял их на незначительные, средние и серьезные. К последним были отнесены все осложнения, возникшие после демонтажа аппарата. L.T. Donnan с соавт. (2003) предложили четырехступенную классификацию. Категория I – осложнения, не приведшие к долгосрочным функциональным или анатомическим нарушениям и не потребовавшие хирургических вмешательств или манипуляций под общей анестезией. К ним были отнесены легкие контрактуры, поддающиеся физиотерапевтическому лечению, проблемы с фиксатором, стресс-переломы и легкие поведенческие расстройства. Категория II – осложнения, при которых потребовались манипуляции под общей анестезией или хирургические вмешательства, но не имели долгосрочного значения. К этой степени были отнесены случаи проведения дополнительных чрескостных элементов; деформация мягких тканей, требующая релиза сухожилий; деформация регенерата, требующая дополнительных манипуляций; переломы, требующие фиксации; необходимость выполнения повторной остеоклазии регенерата; необходимость остеотомии или резекции малоберцовой кости (если угол деформации большеберцовой кости  $> 5^\circ$  бедренной  $> 10^\circ$ ). Категория III – осложнения, связанные со значительными анатомическими или функциональными проблемами, которые либо устраняются хирургическим путем, либо спонтанно улучшаются. В эту категорию попадали случаи транзиторного повреждения нерва, угловая деформация бедренной кости  $> 15^\circ$ , большеберцовой  $> 10^\circ$ , устраняющийся подвывих сустава, отказ от дальнейшего удлинения. Категория IV – осложнения, не купируемые стандартным лечением: подвывих или вывих сустава, необратимое повреждение нерва, необратимые психические расстройства, остеомиелит или



септический артрит. В данной классификации очень субъективна оценка значимости осложнения по отношению к результату лечения. Таким образом одно и то же осложнение может быть классифицировано по-разному. В связи с этим появляются новые классификации с разделением категорий на группы или классы. Так Lascombes P. с соавт. (2012) предлагает более детальную классификацию. Оценка достижения результата лечения в данной классификации осуществляется по 3 позициям, которые должны быть обсуждены с пациентом и его родственниками до начала лечения и включают: запланированное увеличение длины кости, максимальная длительность лечения и возникновение последствий (тройной контракт). Авторы выделяют 4 степени осложнений. I – соблюдение тройного контракта, включая несколько процедур без общей анестезии. II - тройной контракт выполнен, но с внеплановыми вмешательствами под общим наркозом: Эти процедуры могут проводиться до окончания программы удлинения, в периоде distraction (класс II-a) или после окончания данной программы, в периоде фиксации (класс II-б), но без изменения сроков снятия внешнего фиксатора или восстановления опороспособности при комбинированных методиках. III - указанное время не было соблюдено, потому что время сращения кости было более длительным или программа удлинения была прервана, но нарушения функции не отмечено. Данная категория разделена на 2 класса: III-a – сращение было более длительным, но удлинение составило 75% от планируемого или больше; III-b – удлинение составило меньше 75% от планируемого (включая те случаи, когда сращение наступило в обычные сроки) и может потребоваться дополнительный этап удлинения. IV - имеются осложнения, приведшие к ухудшению функции при достижении 75% и более от планируемого удлинения (IV-a) или менее 75% (IV-b). Такая классификация более четко соотносит осложнения с полученным результатом лечения. Но до настоящего момента чаще применяют классификацию J.Caton (Vargas Barreto B. et al., 2007) или D.Paley (Колчин С.Н. с соавт., 2018; Simpson A. et al., 1999; Watanabe K., et al., 2005; Park H. et al., 2008; Kim S. et al, 2012; EL-Husseini T. et al., 2013; Kocaoglu, M. et al., 2017; Marwan Y. et al., 2020; Sheridan G. et al., 2020). При использовании классификаций Caton и Paley могут

быть разночтения при отнесении осложнений к той или иной категории. Например, при переломе после снятия аппарата внешней фиксации результат после повторного остеосинтеза может быть достигнут без потери длины регенерата, а значит осложнение может быть отнесено к категории Caton II. По классификации D.Paley данное осложнение будет отнесено к истинным осложнениям или «последствиям». При этом при оценке осложнений по Caton пациентов, не имевших осложнений, не учитывают в категории I. Классификацию А.В. Попкова используют нечасто и только в отечественной литературе (Шевцов В.И. с соавт., 1997). Но многие указывают частоту отдельных видов осложнений, разным образом оценивая их связь с результатом лечения, но без общей классификации по степеням (Аранович А.М. и др., 2005; Ланцов В.В. с соавт., 2018; Lin C. et al., 1996; Kristiansen L. et al., 1999; Goldstein R. et al., 2013; Burghardt R. et al., 2016; Fernandes H. et al., 2016; Farsetti P. et al., 2019).

Основные осложнения, возникающие в ходе дистракционного остеогенеза, связаны напрямую с длительностью фиксации аппаратом. Наиболее частым осложнением в ходе применения внешней фиксации было и остается воспаление тканей в области проведения чрескостных элементов. G. Nosny (2020) считает, что при чрескостный остеосинтез всегда сопровождается воспалением месте проведения чрескостных элементов. А. Fragomen (2017) в своём исследовании выявил прямую корреляцию частоты воспаления в области проведения чрескостных элементов с длительностью внешней фиксации. Большинство авторов частоту данного осложнения указывает на величине от 28 % до 90% (Соломин Л.Н., 2015; Paley D., 1990; Goldstein R. et al., 2013), в то же время трактовка воспаления отличается у различных авторов, для купирования воспаления в 17,6 % случаев авторы указывают на необходимость внеплановых хирургических пособий (Сидоренко В.А. с соавт., 2014; Watanabe K. et al., 2005; Park H. et al., 2008). На голени в ходе УПГ поверхностные воспаления отмечаются в интервале 11,1–73,7% из них потребовавших хирургического сопровождения в интервале 7,7–10,5% (Kocaoglu M. et al., 2004; Watanabe K. et al., 2005; Park H. et al., 2008; Burghardt R. et al., 2016). На бедре в ходе УПГ воспаления в области проведения ЧЭ отмечают в

20%, (Kim S. et al., 2012; Farsetti P. et al., 2019). Частота глубокой инфекции при УПГ указывается в интервале 5–20% по различным источникам (Lin C. et al., 1996; Kristiansen L., 1999; EL-Husseini T. et al., 2013; Farsetti P. et al., 2019), превышая данный показатель при ЧО. В ряде исследований вовсе не выявлены случаи глубокой инфекции при комбинированном удлинении (Kocaoglu M. et al., 2004; Watanabe K. et al., 2005; Fernandes H. et al., 2016).

Также с длительностью внешней фиксации в прямой зависимости находится количество переломов ЧЭ, которые указываются в интервале 6–69% (Аранович, А.М. с соавт., 2005; Park H. et al., 2008). При комбинированных методиках по данным различных авторов, в сравнении с ЧО частота переломов спиц и стержней уменьшается. Так L. Kristiansen и H. Steen (1999) указывают на это осложнение у половины пациентов, H. W. Park с соавт. (2008) - в 39% случаев. В работах последних лет указывают на снижение до 5% данного осложнения при методике УПГ (Burghardt R. D. et al., 2016; Farsetti P. et al., 2019). В ходе применения УПГ описаны лишь единичные случаи переломов на уровне регенерата, которые возможны лишь при разрушении интрамедуллярного стержня (Kristiansen L. et al., 1999; Kocaoglu M. et al., 2004; Kim S. et al., 2012; Vulcano E. et al., 2018).

При удлинении сегментов при помощи внешней фиксации нарушение процессов консолидации указывают в интервале 6%–18% (Аранович А.М., с соавт., 2005; Watanabe K. et al., 2005; Kocaoglu M. et al., 2004; Farsetti P. et al., 2019). Развитие данного осложнения увеличивает длительность чрескостного остеосинтеза, что также повышает риск развития других осложнений, и требует дополнительного хирургического пособия в виде костной пластики. При УПГ T.F. EL-Husseini (2013) указывает эти осложнения в диапазоне 20%; M. Kenawey (2011) – 21,6%; S.J. Kim (2012) – 46,3%. В среднем частота осложнения 7,1–9% (Kocaoglu M. et al., 2004; Song H. et al., 2005; Jain S. et al., 2012; Farsetti P. et al., 2019). В ряде клинических работ случаев развития замедленной консолидации не отмечено (Fernandes H., 2016; Salcedo Cánovas C., 2018). Некоторые работы не отмечают повышения риска замедленной консолидации даже при большом объеме удлинения (Nguyen Van L., 2023).

Ряд авторов при оценке эмоционального состояния пациентов при удлинении конечности отмечают сильное психологическое воздействие на пациента наличие внешней фиксации (Hrutkay J., Eilert R., 1990; Ghoneem H. et al., 1996; Martin L. et al., 2003). Наиболее отчетливо влияние на психоэмоциональное состояние проявлялось в период distraction (Ramaker R.R., 2000; Pawik, Ł. et al., 2021; Hafez M. et al., 2022), и характеризовалось проблемами со сном, повышенной тревожностью, грустью, усталостью, раздражительностью. Также отмечают влияние громоздкости и больших размеров аппарата внешней фиксации и невозможность скрыть его на период лечения, как одна из причин сниженной самооценки, что приводит к снижению качества жизни пациента (Hafez M., 2022). Хотя и отмечено, что эмоциональная сфера выравнивается после окончания лечения (Ghoneem H. et al., 1996), но для облегчения амбулаторного наблюдения за пациентом, улучшения качества жизни пациентов в процессе лечения при удлинении конечностей несомненный интерес для клинической практики представляет методика УПГ.

### **1.5. Резюме.**

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы подтверждает, что среди пациентов, обращающихся за медицинской помощью в ортопедические клиники практически у 50% пациентов, имеется несоответствие в длине нижних конечностей у трети из них она требует хирургической коррекции. Медицинская и социальная составляющие проблемы хирургического лечения данной патологии довольно значима. Это объясняется тем, что эта патология встречается чаще у лиц трудоспособного возраста и может приводить к стойкому снижению функции нижней конечности вплоть до инвалидизации пациентов. Что делает данную проблему довольно актуальной.

Наиболее распространенным и признанным способом устранения неравенства длин конечностей в настоящий момент является удлинение методом Илизарова. Но несмотря на все преимущества данного метода наличие внешней конструкции, нуждающейся в регулярном уходе и наблюдении со стороны

медперсонала и требующий длительного ношения, являются недостатками данного метода, также недостатком является большое количество осложнений, связанных с длительностью внешней фиксации: воспаления в зоне проведения чрескостных элементов и переломы чрескостных элементов. Все современные тенденции развития метода Илизарова направлены на снижения времени нахождения пациента во внешнем фиксаторе, но все же демонтаж АВФ возможен только после полной перестройки полученного регенерата. Важной социальной проблемой удлинения в аппарате является дискомфорт лечения пациентов и связанное с этим снижение качества жизни на период лечения. Решение этих проблем требуют другого подхода в лечении данной патологии. В качестве альтернативы удлинению в аппарате внешней фиксации А.И. Блискунов (1983) предложил способ удлинения с помощью внутрикостного дистрактора. Методика активно развивается последние 40, но на территории РФ интрамедуллярные дистракторы не сертифицированы и пока не могут быть применены в клинической практике. На современном этапе использование комбинированных методик увеличило эффективность лечения при коррекции неравенства длин нижних конечностей. Методика удлинение поверх гвоздя позволяет максимально снизить время нахождения пациента в аппарате внешней фиксации, за счет интрамедуллярной фиксации после достижения необходимой длины регенерата. Однако, данная методика имеет ряд технических сложностей в первую очередь, связанную с эксцентричным проведением чрескостных элементов, особенно на бедренной кости. Решение в виде использования ЭФ показало высокую эффективность, однако требует дополнительной оптимизации в виде разработки компоновок для различных клинических ситуаций, ведь рекомендуемые компоновки применимы в основном при остеотомиях в с/3 бедра. Также не изучена жесткость фиксации костных фрагментов в полной компоновке чрескостного аппарата с ЭФ и с учетом введенного интрамедуллярного стержня. Также не решены вопросы применения методики при наличии дополнительных компонентов деформации, коротком дистальном фрагменте бедренной кости, что может приводить к определенным сложностям в позиционировании интрамедуллярного фиксатора.

В экспериментальных работах, посвящённых формированию регенерата на интрамедуллярном фиксаторе, данные, публикуемые в научной литературе, подчас имеют противоречивый характер, проведены в небольших группах крупных животных. Необходимы исследования в больших группах на мелких инбредных животных, что требует разработки и апробации экспериментальных моделей, позволяющих обосновать использование методики.

В целом же проведенный анализ профильных научных публикаций позволил сделать заключение о том, что использование комбинированной методики удлинения у пациентов с неравенством длин конечностей не решена окончательно. С учетом описанных выше противоречивых данных были выбраны тема и цель клинико-экспериментального диссертационного исследования, определены его задачи и последовательность их решения.

## ГЛАВА II

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### **2.1. Структура и общая характеристика диссертационного исследования.**

Работа выполнена в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, была проведено в несколько этапов и состоит из экспериментальной и клинической частей. На начальном из них был проведен анализ научных статей отечественных и зарубежных авторов профильных научных публикаций, относящихся к проблеме хирургической коррекции разницы в длине костей нижних конечностей. Основное внимание было уделено особенностям дистракционного остеогенеза при различных методиках удлинения и особенностям хирургических методов устранения укорочения. Проведенный анализ научной литературы позволил обосновать актуальность темы диссертационного исследования, сформулировать его цель и задачи, а также спланировать две части работы: экспериментальную и клиническую.

Следующим этапом была реализована экспериментальная часть работы. Для решения первой задачи нами была разработана модель для экспериментального изучения дистракционного регенерата, получаемого на интрамедуллярном фиксаторе. В ходе этого этапа была проведена серия экспериментальных исследований на лабораторных животных (кроликах) позволивших разработать оптимальную модель, основным отличием которой являлось сохранение внешней фиксации, как имитации блокирования на период внутренней фиксации. Дальнейшее экспериментальное исследование с применением данной модели позволило определить морфологические и рентгенологические особенности формирования дистракционного регенерата на интрамедуллярном фиксаторе и сравнить его с регенератом получаемым при удлинении методом Илизарова. В целом, этот этап диссертационной работы был ориентирован на выполнении второй задачи исследования, а полученные результаты позволили решить ее.

Далее нами были проведены серии специальных стендовых исследований для сравнения жесткости остеосинтеза в комбинированных с установленным

интрамедуллярным стержнем компоновках АВФ при имитации применения методики УПГ с применением экстракортикальных фиксаторов и без них. Все исследуемые модели фиксировались в специальном стенде, далее прикладывалась нагрузка, смещение фиксировалось датчиками линейных перемещений. Результаты этих стендовых исследований позволили решить третью задачу диссертационного исследования.

Следующим этапом в рамках реализации плана диссертационной работы нами было проведено исследование для упрощения выполнения методики УПГ при ретроградном введении интрамедуллярного стержня на бедренной кости. Для этого был разработан оригинальный направитель, позволяющий формировать точку ввода интрамедуллярного стержня и проводить ограничивающие винты, ориентирующие стержень в канале. Далее на пластиковой модели бедренной кости был проведен эксперимент по отработке рациональной техники применения направителя, а также клиническая апробация.

Клинический раздел настоящего исследования состоял преимущественно из ретроспективной части. Во всех группах производился анализ рентгенограмм для оценки перестройки дистракционного регенерата и референтных линий и углов, также проведена оценка с использованием опросников SF-36 и LEFS. В первой (основной) группе в ходе хирургического лечения применялась методика «Удлинение поверх гвоздя», в клинической группе сравнения, использовалось удлинение по Илизарову. Полученные на этом этапе работы клинические данные, подтвердили достоверность выполненных экспериментальных исследований и позволили обосновать клиническую эффективность методики. Благодаря этому, на наш взгляд, удалось решить соответственно четвертую и пятую задачи диссертационного исследования и, в целом, реализовать его цель.

## **2.2. Материалы и методы исследования в эксперименте на животных.**

### **2.2.1. Материалы исследования в эксперименте на животных.**

Экспериментальная работа выполнена в виварии ФГБУ НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 10993-2-2009, ГОСТ ISO



10993-6-2011, ГОСТ 31879-2012 и правилами принятыми Европейской конвенцией по защите позвоночных животных (Council Directive 86/609/EEC of 24 November 1986 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States regarding the protection of animals used for experimental and other scientific purposes Official Journal L 358 , 18/12/1986 P. 0001 – 0028). Все процедуры с животными были рассмотрены и утверждены этическим комитетом по использованию животных на предмет соответствия этическим принципам. Экспериментальные исследования проведены на половозрелых кроликах породы Советская Шиншилла весом 2,5–2,8 кг. Каждое экспериментальное животное имело паспорт состояния здоровья и ветеринарный сертификат качества. До начала эксперимента все животные проходили карантин в течение 7 дней. На каждое животное заводили отдельную историю болезни. Для эксперимента были отобраны животные без признаков отклонений внешнего вида, с колебаниями веса  $\pm 10\%$ , в экспериментальные группы распределены случайным образом. Выведение животных из эксперимента выполнялось передозировкой тиопентала натрия.

Все животные имели идентичные условия содержания и кормления, которые соответствовали стандартам, указанным в руководстве The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Research Council. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. Washington, DC: The National Academies Press, 1996). Кролики содержались по три в клетке, использовалось искусственное освещение, осуществлялась вентиляция помещения, температурный режим был в интервале 18–23°C, влажность – 50–70%. В качестве подстилки использовали подстил для грызунов LIGNOCEL (JRS, Germany). Животные получали стандартный брикетированный корм «Корм для содержания лабораторных грызунов ПК-120» (Россия, ГОСТ) и профильтрованную водопроводную воду, которая помещалась в стандартные стеклянные бутылки по 500 мл с конической пробкой из нержавеющей стали с отверстием в центре. В ходе проведения эксперимента загрязнений подстилки, корма и воды, способных повлиять на результаты исследования, не выявлено. При подготовке к операции, за сутки, кормление прекращали, животные получали лишь воду.

Для апробации и обоснования экспериментальной модели проведено сравнение 3-х групп (модель №1, модель №2, контрольная группа) использовано 12 животных (4 особи на группу).

Сравнительное исследование дистракционных регенератов проведено на 2 группах лабораторных животных (контрольная – удлинение по Илизарову и опытная – «удлинении поверх гвоздя») по 18 особей в каждой.

### **2.2.2. Хирургические протоколы (методы) в экспериментальном исследовании на животных.**

Для всех групп животных хирургическое вмешательство проводилось под внутривенным наркозом (Sol. Ketamini 3% 4 ml + Sol. Relanium 2 ml). Животное укладывали на спину, привязывая к операционному столу (рис. 2.1), оставляя свободной для операции правую голень.



Рис. 2.1. Фиксация животного на операционном столе.

#### *Дизайн обоснования экспериментальной модели «Удлинения поверх гвоздя»*

В *контрольной* группе (удлинение по Илизарову) после обработки операционного поля растворами антисептиков (рис. 2.2) проводили по две спицы диаметром 1,1 мм (рис.2.3) в проксимальном и дистальном отделах большеберцовой кости перпендикулярно оси большеберцовой кости. Далее монтировали мини-аппарат Илизарова из четырех опор. Проведенные спицы натягивали и фиксировали в базовых опорах (рис. 2.4), после чего проводили дополнительные спицы диаметром 1,1 мм в базовых опорах и по одной спице

диаметром 1,1 мм в парафрактурных опорах. Их также натягивали и фиксировали (рис. 2.5). Схема аппарата внешней фиксации согласно «Методу унифицированного обозначения чрескостного остеосинтеза» (Соломин Л.Н., 2015) имела следующий вид:

$$\frac{I,8-2; I,4-10}{70} \_ \frac{III,3-9}{70} \leftrightarrow \frac{VI,3-9}{70} \_ \frac{VIII,8-2; VIII,4-10}{70}$$



Рис.2.2. Обработка операционного поля.



Рис. 2.3. Проведение спиц.



Рис. 2.4. Монтаж мини-аппарата



Рис. 2.5. Полная компоновка аппарата.

Далее штанги между проксимальным и дистальным модулями ослабляли. Из отдельного доступа в средней трети голени производили формирование спицей 1,5 мм несколько каналов (рис. 2.6), затем выполняли остеоклазию (рис. 2.7). Далее аппарат стабилизировали, выполняли рентгенографию конечности (рис.2.8 а, б).



Рис. 2.6. Просверливание.

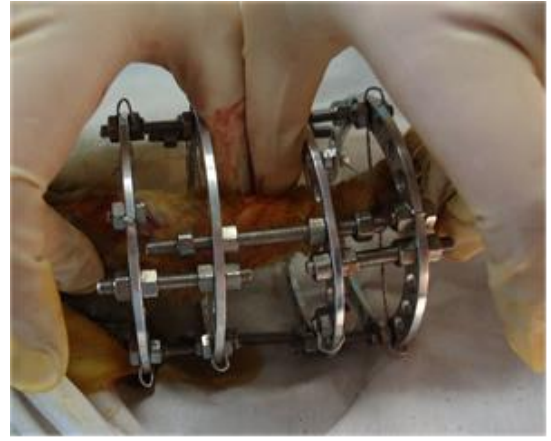
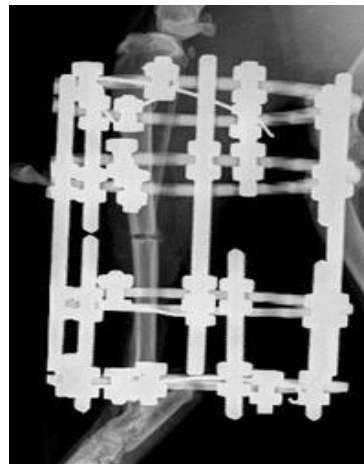


Рис. 2.7. Остеоклазия.

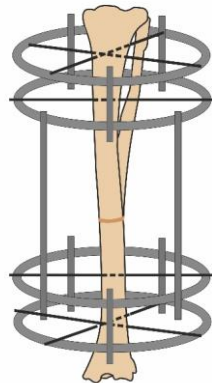


а

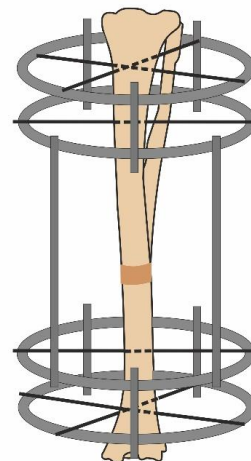


б

Рис. 2.8. Рентгенография после остеоклазии: прямая (а) и боковая (б) проекции.



а



б

Рис. 2.9. Схема формирование дистракционного регенерата в контрольной группе: а – начало дистракции, б – на момент окончания дистракции.

Дистракцию начинали с 5-х суток после операции и проводили в темпе 1 мм в сутки за 4 приема в течение 10 дней (рис. 2.9 а, б).

В модели №1 комбинированное применение чрескостного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза («удлинение поверх гвоздя») при удлинении голени моделировали, блокируя интрамедуллярные фиксаторы в кости по окончании дистракции с последующим демонтажем аппарата (рис. 2.10).

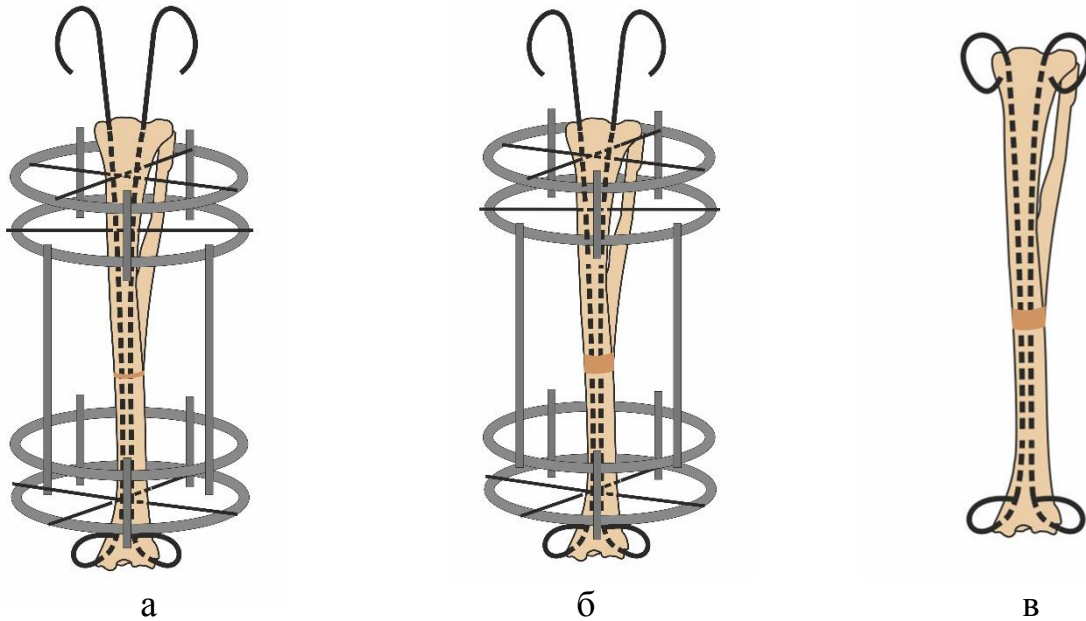


Рис. 2.10. Схема модели №1: а – комбинированный остеосинтез большеберцовой кости, начало дистракции, б – конец дистракции, в – блокирование спиц в проксимальном метафизе большеберцовой кости, демонтаж АВФ.

На первом этапе операции 2 спицы диаметром 1,2 мм интрамедуллярно вводили аналогично методике интрамедуллярного армирования (Попков Д.А. и соавт., 2005), но в отличие от армирования двухмиллиметровыми спицами костномозгового пространства большеберцовой кости собаки, у кролика две спицы диаметра 1,2 мм полностью занимали самое узкое место костномозгового канала и являлись аналогом интрамедуллярного стержня для данной кости (рис. 2.11). Концы интрамедуллярных спиц изгибали и блокировали путем импактирования в метафиз большеберцовой кости, с учетом дефицита мягких тканей спицы погружали через отдельный прокол, и часть конструкции оставалась над кожей (рис. 2.12). После этого накладывали мини-аппарат Илизарова (рис. 2.13), и после предварительного просверливания, скручивающими движениями выполняли остеоклазию.

Интрамедуллярные спицы в проксимальном отделе оставляли свободными (рис. 2.14). По окончании этапа выполняли рентгенографию (рис. 2.15).



Рис. 2.11. Проведение интрамедуллярных спиц.



Рис. 2.12. Дистальное блокирование интрамедуллярных спиц.



Рис. 2.13. Наложение мини-аппарата Илизарова, остеоклазия.



Рис. 2.14. Внешний вид конечности в конце первого хирургического этапа.

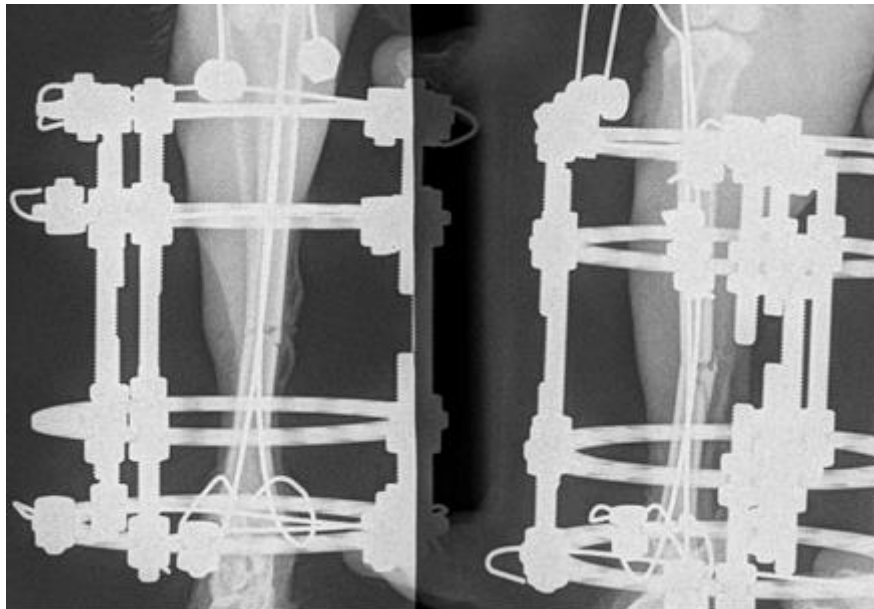


Рис 2.15. Послеоперационная рентгенография.

Время начала дистракции, величина, темп и кратность соответствовали контрольной группе. По окончании дистракции на следующий день выполняли второй этап хирургического вмешательства. Из разреза по передней поверхности коленного сустава выполняли блокирование интрамедуллярных спиц в проксимальном отделе большеберцовой кости, фиксируя загнутые концы спиц в метафизе по аналогии с блокированием в ходе первого вмешательства. Конструкции без натяжения закрывалась мягкими тканями. Рану ушивали, аппарат демонтировали (рис. 2.16) и выполняли рентген-контроль (рис. 2.17).



Рис. 2.16. Внешний вид конечности после второго вмешательства.



Рис. 2.17. Окончательный рентген-контроль.

В модели №2 применяли разработанный способ моделирования комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза при удлинении голени (рис. 2.18).

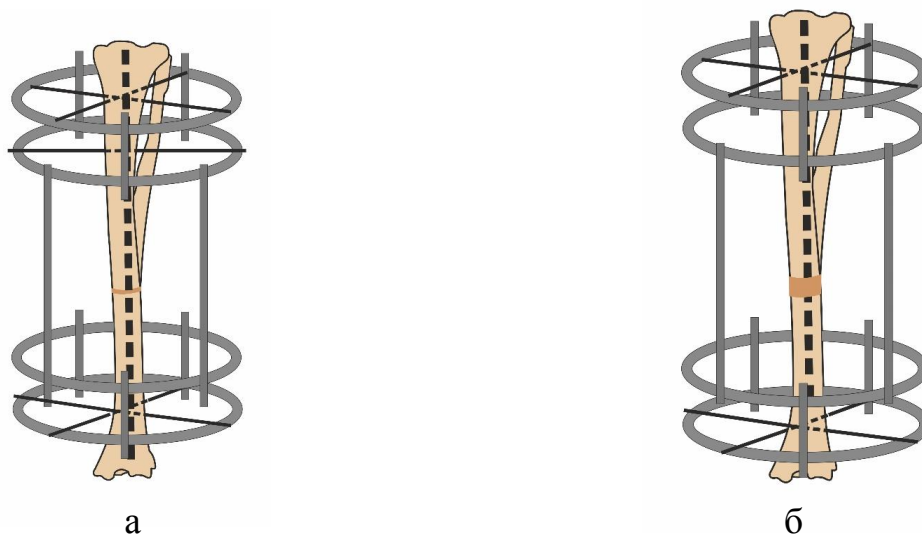


Рис. 2.18. Схема модели №2: а – после выполнения комбинированного остеосинтеза, б – в конце дистракции после удаления спицы из парафрактурной опоры.



Как и в контрольной группе, операцию начинали с монтажа аппарата на голень кролика (рис 2.19). После чего выполнялась остеоклазия (рис 2.20), далее определяли необходимую длину интрамедуллярного фиксатора с учетом планируемого удлинения (рис. 2.21).



Рис. 2.19. Мини-аппарат Илизарова на голени кролика

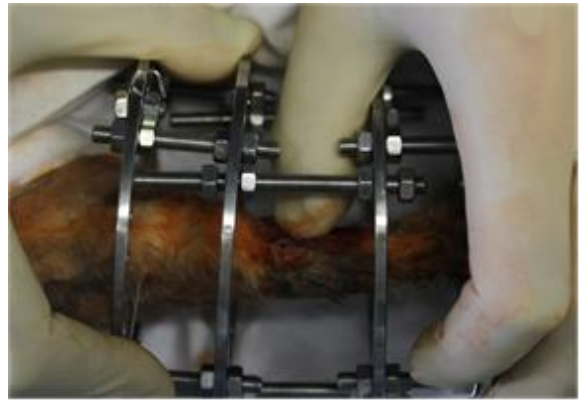


Рис. 2.20. Остеоклазия.



Рис 2.21. Определение длины интрамедуллярной спицы.

По передней поверхности коленного сустава выполнялся доступ с продольным рассечением собственной связки надколенника (рис. 2.22 а) вскрывали костномозговой канал. Интрамедуллярный фиксатор (спицу) диаметром 2 мм вводили в костномозговой канал (рис. 2.22 б). После погружения интрамедуллярного фиксатора в мягкие ткани (рис 2.22 в) и ушивания раны выше места остеоклазии проводили дополнительную спицу с фиксацией в парафрактурной опоре проксимального модуля (рис 2.22 г), после чего аппарат стабилизировали (рис. 2.22 д). Ниже остеотомии интрамедуллярно проведенная

двухмиллиметровая спица занимала все пространство канала и проведение стабилизирующей спицы было невозможно. Схема АВФ:

$$\frac{I,8-2; I,4-10}{70} \text{ — } \frac{III,3-9}{70} \leftrightarrow \frac{\quad}{70} \text{ — } \frac{VIII,8-2; VIII,4-10}{70}$$



а



б



в



г



д

Рис. 2.22. Этапы хирургического вмешательства, Модели 2: а – доступ к точке ввода; б – имплантация спицы; в – окончательное внедрение интрамедуллярной спицы; г – проведение дополнительной спицы в проксимальной парафрактурной опоре; д – конечность после хирургического вмешательства.

По окончании операции выполняли рентгенографию (рис. 2.23 а). Время начала дистракции, величина, темп и кратность соответствовали контрольной группе. По окончании дистракции удаляли дополнительно проведенную спицу из

проксимального модуля, 4 спицы в базовых опорах оставляли как имитацию блокирования интрамедуллярного фиксатора (рис. 2.23 б).

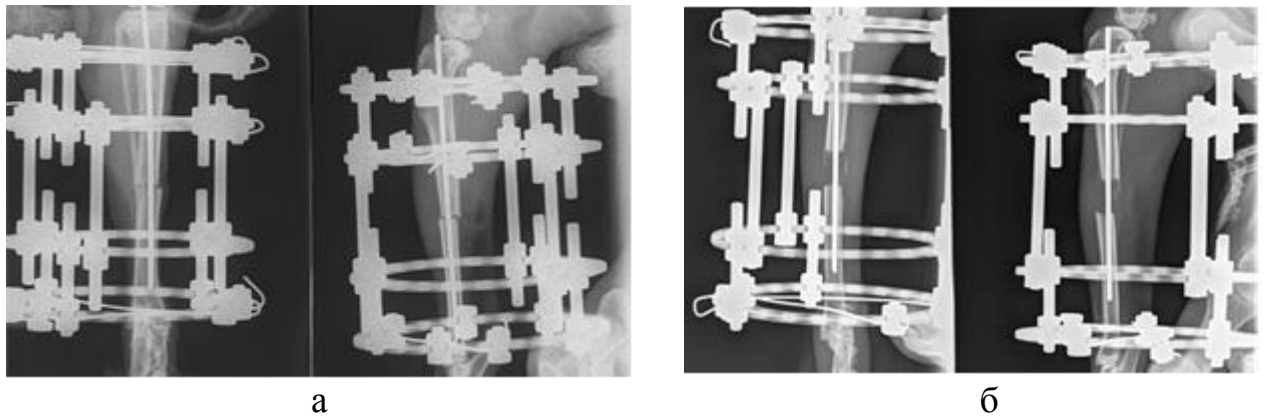


Рис. 2.23. а – рентгенграфия интраоперационно; б – рентгенограмма после окончания дистракции.

Продолжительность эксперимента в группах составила 45 суток: латентный период – 5 суток, дистракция – 10 суток, период фиксации – 30 суток.

*Дизайн сравнительной оценки дистракционных регенератов при «удлинении поверх гвоздя» и по Илизарову.*

В контрольной группе выполнялось классическое удлинение по Илизарову, хирургическое вмешательство проводили по методике, описанной выше.

В опытной группе вмешательство проводили соответственно разработанной модели (модель №2), где АВФ имитировал блокирование интрамедуллярного фиксатора. Однако в ходе отработки модели нами было установлено, что наиболее эффективно выполнение остеоклазии методом скручивания после предварительного просверливания. Последовательность действий была следующая: после наложения аппарата и определения длины необходимого интрамедуллярного фиксатора, выполняли римирирование костномозгового канала спицей 2,0 мм, просверливание на уровне планируемой остеоклазии, затем вводили интрамедуллярный фиксатор и скручивающими движениями выполняли остеоклазию. Это исключает травмирование мягких тканей при случайном выходе интрамедуллярного фиксатора из канала на уровне остеоклазии во время его введения. А для достижения более равномерного дистракционного усилия, исключения деформации регенерата и/или возможной поломки спиц

дополнительно проводили 3-ю спицу в дистальной базовой опоре. Период фиксации составлял тридцать суток.

### 2.2.3. Методики клинического обследования лабораторных животных.

Табл. 2.1. Выполнение клинических исследований и количество животных в каждой группе на протяжении эксперимента.

Сроки обследования	опер.	5-е сут.	10-е сут.	15-е сут.	20-е сут.	30-е сут.	45-е сут.
Общее состояние	+	+	+	+	+	+	+
Локальный статус	+	+	+	+	+	+	+
Количество животных при отработке модели	4	4	4	4	4	4	4
Количество животных в основном эксперименте	18	18	18	15	12	9	6

Сравнительные исследования:

Общее состояние (поведение, аппетит, физиологические отправления) и локальный статус (отек, состояние мягких тканей у спиц, функция конечности) оценка выполнялись на следующих сроках:

1. В день операции.
2. 1-е сутки после операции.
3. 5-е сутки эксперимента – начало дистракции.
4. 10-е сутки эксперимента – середина периода дистракции.
5. 15-е сутки эксперимента – конец периода дистракции.
6. 20-е сутки эксперимента – 5-е сутки фиксации.
7. 30-е сутки эксперимента – 15 суток фиксации.
8. 45-е сутки эксперимента – 30 суток фиксации.

На каждом из этих сроков из основного эксперимента выводили по 3 особи. План обследования представлен в таблице 2.1.

#### 2.2.4. Материалы и методы рентгенологического и морфологического исследований.

В указанные сроки (раздел 2.2.3) выполнялись рентгенологические исследования. КТ и морфологические исследования выполнялись в конце эксперимента при выведении животных из опыта. В основном эксперименте на каждом из этих сроков из эксперимента выводили по 3 особи. План обследования представлен в таблицах 2.2 и 2.3.

Табл. 2.2. Выполнение исследований в одной группе при отработке модели.

Сроки обследования	опер.	5-е сут.	10-е сут.	15-е сут.	20-е сут.	30-е сут.	45-е сут.
Рентгенография	+	+	+	+	+	+	+
КТ	×	×	×	×	×	×	4
Морфология	×	×	×	×	×	×	4
Количество животных	4	4	4	4	4	4	4

Табл. 2.3. Выполнение исследований в одной группе в основном эксперименте.

Сроки обследования	опер.	5-е сут.	10-е сут.	15-е сут.	20-е сут.	30-е сут.	45-е сут.
Рентгенография	+	+	+	+	+	+	+
КТ	×	×	3	3	3	3	6
Морфология	×	×	3	3	3	3	6
Количество животных в эксперименте	18	18	18	15	12	9	6

Рентгенограммы в ходе исследования выполняли аппаратом 10Л6-01 «Арман-6» (ОАО «Актюбрентген», Республика Казахстан), с использованием цифровых кассет Agfa, для оцифровки использовали комплекс для цифровой рентгенографии системы CR. Для оценки рентгенограмм использовали программное обеспечение Agfa. Компьютерную томографию выполняли после выведения животных из эксперимента на компьютерном томографе Toshiba Aquilion Prime 80 срезов (160 виртуальных). Измерение денситометрических показателей выполнялась в 20 зонах на программе e-Film в автоматическом режиме. Для различных зон сравнивались

костная плотность в единицах Хаунсфилда (HU). При необходимости срезы переводили в режим мультипланарной реконструкции (MPR).

Для морфологических исследований после эвтаназии голень животного фиксировали в 10% растворе формалина в течение 2-х суток. При первичной обработке в растворе формалина на небольших сроках фиксации в аппарате на голени животного сохраняли АВФ для предотвращения деформации и повреждения регенерата. На сроках 30-е и 45-е сутки аппарат внешней фиксации демонтировали. Следующим этапом вырезали костный препарат с захватом 1 см интактной кости в проксимальном и дистальном направлении от регенерата и проводили его декальцинацию в насыщенном растворе трилона В. После этого повторно фиксировали в 10% нейтральном формалине, обезвоживали в изопропанолe восходящей концентрации с использованием установки проводки гистологического материала Microm STP- 120 (Micron Technology, США) и заливали в парафин, применяя заливочную установку Leica (Leica, Германия). С помощью санного микротомa Leica (Leica Microsystems, Германия) получали срезы толщиной 5 мкм, которые окрашивали гематоксилином — эозином (Биовитрум, Россия) и по Маллори (Биовитрум, Россия) с использованием установки окраски «Рафаэлло» (DIAPATH, S.p.A., Италия). Патоморфологический анализ гистологических препаратов и фотодокументирование проводили, используя микроскоп Nikon E-50i (Nikon, Япония), объективы: 5, 10, 20 и 40 и окуляр 10 (Nikon, Япония). Морфометрический анализ полученных препаратов выполнялся в программе «Видео-тест 4,0», для оценки использовались препараты окрашенные по Маллори. При оценке поля зрения определялась площадь, занимаемая костными балками и сосудами в периостальной и интермедиарной (расположенной между интактными кортикалами проксимального и дистального костного фрагмента) областях регенерата.

Морфометрические измерения выполнялись в 5 областях по вертикали. Для оценки показателей формировалось 6 зон: I – зоны, прилежащие к проксимальному и дистальному фрагменту в периостальной области регенерата, II – промежуточные зоны в периостальной области (зона формирующейся кости), III – ростковая зона

регенерата в периостальной области, IV – зоны, прилежащие к проксимальному и дистальному фрагменту в интермедиарной области регенерата, V – промежуточные зоны в интермедиарной области, VI – ростковая зона регенерата в интермедиарной области. (рис. 2.24 а, б).

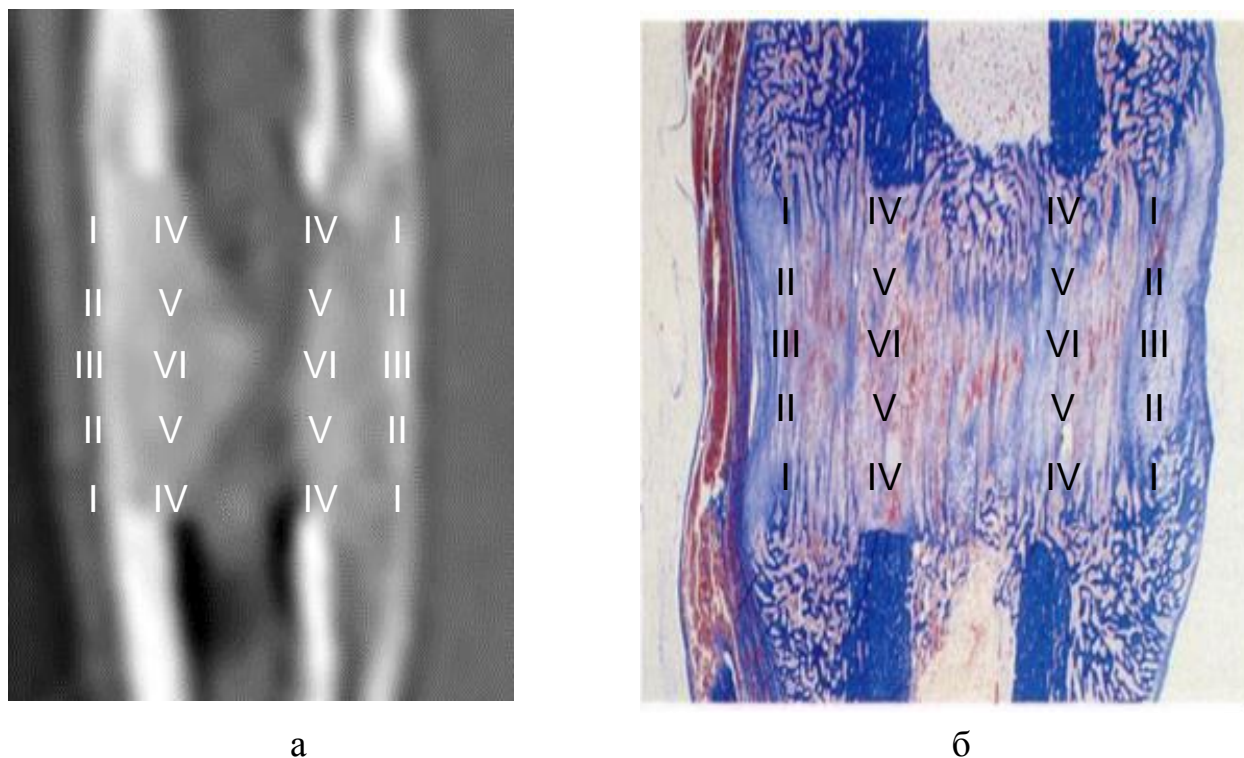


Рис. 2.24. Визуализация зон: а – для рентгенологического анализа, б – для морфометрического анализа.

Таким образом, на каждом препарате в зонах I, II, IV и V формировали по 4 поля измерений, в зонах III и VI – по 2 поля морфометрических измерений. После оценки нескольких препаратов по зонам формировались выборки для статистической обработки данных морфометрии.

### **2.3. Материалы и методы биомеханического стендового исследования.**

#### **2.3.1. Материалы биомеханического стендового исследования.**

С целью определения компоновок отвечающих всем требованиям для применения методики «Удлинения поверх гвоздя» на бедренной кости проведено экспериментальное исследование жесткости комбинированного остеосинтеза. Экспериментальные модели включали интрамедуллярный стержень с односторонним блокированием и аппарат внешней фиксации (модуль третьего порядка – М3). Для комбинированного остеосинтеза были использованы

универсальные интрамедуллярные бедренные стержни DC (производства НПО "Деост", Россия), детали аппарата Илизарова (производства филиала ФГУП "ЦИТО" в г. Кургане им. Академика Г.А. Илизарова", Курган, Россия) и экстракортикальные фиксаторы (производства ООО «Арете», СПб, Россия). Пластиковые модели бедренной кости использовались в качестве имитатора кости (производства ООО «Персей», СПб, Россия).

Оптимальные компоновки МЗ определялись согласно «Методу компоновки аппаратов для чрескостного остеосинтеза» (Медицинская технология ФС №2009/120), на основании разработанного способа удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня (патент РФ на изобретение № 2584555), включающий введение и одностороннее блокирование интрамедуллярного стержня, введение чрескостных элементов и двух экстракортикальных фиксаторов под углом 60 градусов друг к другу, которые закрепляют в аппарате внешней фиксации таким образом, чтобы расстояние между их лапками на кости составляло не менее 10 см, а при невозможности обеспечить это условие вводят и фиксируют третий экстракортикальный фиксатор или стержень-шуруп между упомянутыми, который вводят в интактной зоне между ними. Все чрескостные элементы были введены согласно «рекомендуемым позициям» на основе атласа по проведению чрескостных элементов (Соломин Л.Н., 2015). Жесткость модулей исследовалась согласно медицинской технологии «Метод исследования жесткости чрескостного остеосинтеза при планировании операций» (Сабиров Ф.К., 2016). Все измерения проводились на специальном стенде (рис. 2.25).

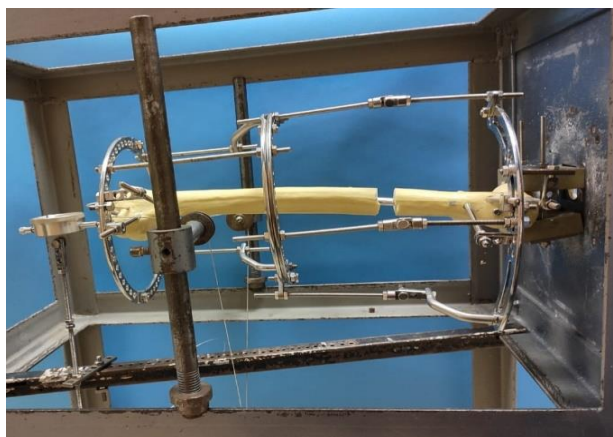


Рис. 2.25. Стенд для измерения жесткости остеосинтеза.



Для исследования выбраны компоновки аппаратов с использованием экстракортикальных фиксаторов для антеградного введения интрамедуллярного стержня и остеотомии на границе верхней и средней трети диафиза, а также ретроградного введения стержня и остеотомии на границе средней и нижней трети диафиза (таб.2.4). При выполнении остеотомии для удлинения в средней трети диафиза бедра полная компоновка аппарата (М3) может быть обеспечена двумя оптимальными по жесткости М2 на основе 2-х экстракортикальных фиксаторов с достаточным расстоянием между ними (Сабиров Ф.К., 2016). Дополнительное исследование таких модулей не проводилось.

Таб. 2.4. Распределение по уровням остеотомии

Уровень остеотомии	Способ введения стержня	Экстракортикальные фиксаторы	Традиционные чрескостные элементы
Верхняя треть	Атеградное введение	2	2
Нижняя треть	Ретроградное введение	2	2

При планировании компоновок для удлинения на ретроградно введенном стержне экстракортикальные фиксаторы располагали на расстоянии 10 см. При планировании компоновок для удлинения на антеградно введенном стержне возможное расстояние между экстракортикальными фиксаторами составляло 7 см, в связи с этим в данным компоновках дополнительно применялись традиционные чрескостные элементы. Экстракортикальные фиксаторы устанавливали перпендикулярно оси кости под углом  $60^\circ$  относительно друг друга. Также исследованы аналогичные компоновки, в которых экстракортикальные фиксаторы были заменены на стандартные чрескостные элементы, проведенные тангенциально по отношению к интрамедуллярному стержню.

Обозначения исследуемых модулей и схемы согласно «Методу унифицированного обозначения чрескостного остеосинтеза» (МУОЧО) представлены в табл. 2.5 и 2.6.





а



б

Рис. 2.26. а – пример МЗ с использованием экстракортикального фиксатора; б – пример МЗ с использованием только стандартных чрескостных элементов.

Таблица 2.6. Исследуемые компоновки аппаратов для методики удлинения бедренной кости поверх гвоздя при ретроградном введении стержня.

Обозначение изучаемых аппаратов	Обозначение модуля согласно МУОЧО		
МЗ-ретро-стЧЭ1	<u>I,10,90; I,9,90;II,8,90; III,10,90</u> 1/5 200	_____ 2/3 180	<u>VIII,8,90; VIII,3-9;VIII,9-3</u> 180
МЗ-ретро-стЧЭ2	<u>I,10,90; I,9,90;II,8,90; III,10,90</u> 1/5 200	_____ 2/3 180	<u>VIII,4,90; VIII,3-9;VIII,9-3</u> 180
МЗ-ретро-ext1	<u>I,10,90; I,9,90;II,8,90 ext;</u> 1/5 200	_____ <u>IV,9,90 ext</u> 2/3 180	<u>VIII,8,90;VIII,9-3</u> 180
МЗ-ретро-ext2	<u>I,10,90; I,9,90;II,8,90 ext</u> 1/5 200	_____ <u>IV,9,90 ext</u> 2/3 180	<u>VIII,4,90;VIII,9-3</u> 180

Обозначение: МЗ-ретро-стЧЭ1 – модуль третьего порядка для ретроградного введения интрамедуллярного стержня на основе стандартных чрескостных элементов вариант 1; МЗ-ретро-стЧЭ2 - модуль третьего порядка для ретроградного введения интрамедуллярного стержня на основе стандартных чрескостных элементов вариант 2; МЗ-ретро-ext1 - модуль третьего порядка для ретроградного введения интрамедуллярного стержня с использованием экстракортикальных фиксаторов вариант 1; МЗ-ретро-ext2 - модуль третьего порядка для ретроградного введения интрамедуллярного стержня с использованием экстракортикальных фиксаторов вариант 2.

### 2.3.2. Методы биомеханического стендового исследования.

В ходе эксперимента исследовались реакции в системе «аппарат внешней фиксации – имитатор кости – интрамедуллярный стержень» при приложении стандартных нагрузок (рис. 2.27): продольные (дистракция, компрессия); поперечные в сагиттальной плоскости (сгибание, разгибание); во фронтальной плоскости (приведение, отведение); ротационные (ротация кнаружи, ротация кнутри).

После фиксации проксимального фрагмента имитатора кости в муфте стенда прикладывали нагрузку к дистальному фрагменту при помощи тарированных грузов (ТУ 64-1-855-78). К нему же прикладывали датчики линейных перемещений часового типа с ценой деления 0,01 мм (ГО 2.221071.013–89). При исследовании ротации и угловых деформаций нагрузки на муляж кости передавали при помощи металлических балок. При моделировании дистракции и компрессии предельной считалась нагрузка при смещении нагружаемого фрагмента на 1 мм, а при имитации угловых смещений и ротации - на  $1^\circ$ . Для достоверной статистической обработки проводилось 240 серий экспериментов для каждой модели, по 30 серий для каждого вида нагрузки.

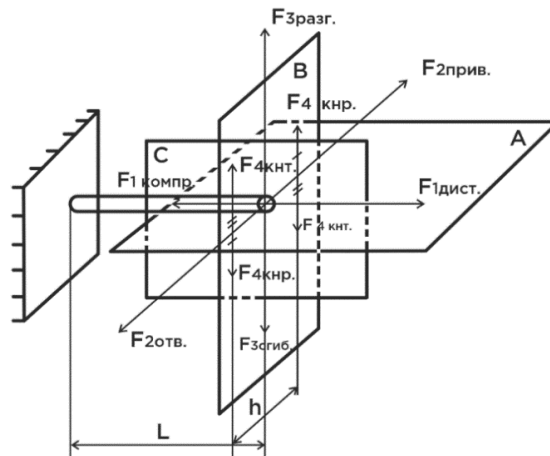


Рис. 2.27. Схема нагрузок: А – фронтальная плоскость; В – горизонтальная плоскость; С – сагиттальной плоскости; F1 – направление силы при дистракции и компрессии; F2 – направление силы при отведении и приведении; F3 – направление силы при сгибании и разгибании; F4 – ротационная сила при торсии кнутри и кнаружи.

Сравнение всех моделей проводилось с эталонным модулем (МЗэ) - полная компоновка аппарата Илизарова на основе двух эталонных модулей второго порядка, с расстоянием между ними 200 мм (Назаров В.А., 2006). Каждый такой модуль второго порядка представляет собой две кольцевые опоры, расположенных на расстоянии 150 мм друг от друга, в котором в одной опоре проведены две 2 мм спицы под углом 60 градусов друг к другу с натяжением 1000 Н, а в другой опоре - по одной 2 мм спице во фронтальной плоскости с тем же натяжением.

### 2.3.3. Оптимизация выполнения методики «удлинение поверх гвоздя».

При ретроградном введении интрамедуллярного стержня в ходе выполнения методики УПГ, особенно при наличии дополнительных компонентов деформации, необходим ряд сложных технических приемов, представляющих трудности, прежде всего, для начинающих хирургов. Однако снизить риск развития ятрогенных осложнений можно за счет использования на практике специальных вспомогательных устройств. Нами был разработан универсальный направитель для обеспечения точного позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов (рис. 2.28).

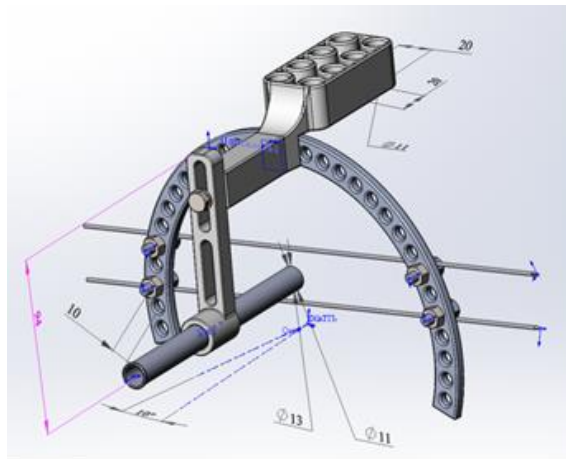


Рис. 2.28. Общая схема устройства.

Преимущества предлагаемого устройства:

1. Направитель является универсальным и может быть использован при установке любых из представленных на рынке вариантов интрамедуллярных блокирующих стержней для ретроградного остеосинтеза бедренной кости.

Конструкция направителя позволяет при проведении ограничивающих винтов использовать инструментарий из наборов различных производителей.

2. Повышение точности позиционирования интрамедуллярного блокируемого стержня в канале бедренной кости вдоль анатомической оси.

3. Сокращение времени операции за счёт сокращения времени на проведение ограничивающих винтов.

4. Хорошая визуализация всех инструментов и костных фрагментов в процессе операции вследствие рентген-прозрачности устройства-направителя.

5. Возможность повторной стерилизации и использования устройства, что обуславливает экономическую целесообразность применения направителя.

Таким образом, предложенное устройство позволяет устранить ряд недостатков, выявленных у ранее известных подобных устройств, а также облегчает правильное позиционирование и установку интрамедуллярного стержня, контроль его положения, а также хорошую визуализацию ограничивающих винтов при их установке в ходе реализации методики УПГ.

Направитель был изготовлен методом 3D печати из порошкового материала белого цвета на базе полиамида — PA 2200 производства фирмы EOS (Германия). Данный материал обладает хорошей рентген-прозрачностью, что обеспечивает визуализацию как костных фрагментов, так и самого устройства.

#### **2.4. Оценки клинической эффективности комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза.**

Клиническая часть диссертационной работы включала анализ особенностей и исходов оперативного лечения 139 случаев удлинения длинных сегментов нижних конечностей у пациентов, проходивших лечение в ФГБУ НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена в период с 2006–2023 гг. Пациенты были разделены на 2 клинические группы.

В группу 1 (VIII) включены пациенты с укорочением бедра и голени при возможном наличии одного дополнительного компонента деформации во фронтальной плоскости, устранение которого могло быть выполнено

одномоментно в ходе первого оперативного вмешательства. Пациенты с наличием деформации в сагиттальной плоскости (боковой проекции) из выборки пациентов исключались ввиду высокого риска возникновения конфликта интрамедуллярного фиксатора со стенками костномозгового канала в момент устранения деформации и/или в ходе продолжающегося удлинения. У пациентов группы 1 применена методика «Удлинение поверх гвоздя». Сравнивали результаты лечения с группой, в которой проводилось удлинение по Илизарову и применялся только чрескостный остеосинтез (ЧО). В группу были включены пациенты с укорочением бедра или голени при возможном наличии одного дополнительного компонента деформации во фронтальной плоскости, устранение которого выполнялось одномоментно при монтаже аппарата.

В сравнительном плане оценивалась длительность периода distraction, периода фиксации, периода чрескостного остеосинтеза, периода консолидации (в днях). Также определялись индексы distraction, фиксации, чрескостного остеосинтеза и консолидации (в днях на 1 см удлинения).

#### **2.4.1. Характеристика клинических групп исследования.**

В 1-й группе (Группа 1, УПГ) проанализированы 59 случаев монолокального удлинения длинных костей нижних конечностей (37 случаев удлинения бедренной кости и 22 – большеберцовой) за период 2006–2023 годы. Мужчин было 43 (69,5%), женщин – 18 (30,5%). Средний возраст пациентов в группе УПГ бедренной кости составил  $35,2 \pm 10,4$  (20–61 год) и  $34,6 \pm 12,5$  для голени (18–60 лет). По этиологии укорочения бедренной кости пациенты распределились следующим образом: посттравматическое – 30 (из них в 10 случаях связанное с резекцией после санации остеомиелита), врожденное – 4, последствия гематогенного остеомиелита – 2, остеомиелит после эндопротезирования, пострезекционный дефект, остаточное укорочение после артрореза коленного сустава – 1. Этиология укорочения голени: посттравматическое – 10 (в том числе 3 случая связанные с резекцией при санации остеомиелита), врожденное – 9, последствия гематогенного остеомиелита – 1, остеомиелит после имплантации онкопротеза коленного сустава, остаточное

укорочение после этапа замещения дефекта – 2. Величина укорочения в группе 1 для бедренной кости составила  $66,9 \pm 40,9$  мм (от 25 до 160 мм), удлинения за один этап лечения –  $42,4 \pm 19,0$  мм (20 до 70 мм). Для голени укорочение составило  $46,9 \pm 17,8$  мм (от 25 до 100 мм), удлинение за один этап лечения –  $40,0 \pm 10,2$  мм (от 20 до 60 мм).

Во вторую группу (Группа 2, ЧО – чрескостный остеосинтез) выбрано 80 случаев монолокального удлинения длинных костей нижних конечностей по Илизарову: бедренная кость – 44, большеберцовая – 36. В этой группе также преобладали мужчины – 48 (60%), женщины – 32 (40%). По этиологии укорочения бедренной кости пациенты распределились следующим образом: посттравматическое – 29 (из них: укорочение-псевдоартроз – 3, в сочетании с хроническим посттравматическим остеомиелитом – 3), врожденное – 10, последствия гематогенного остеомиелита – 1, остеомиелит после эндопротезирования, пострезекционный дефект, остаточное укорочение после артродеза коленного сустава – 1, остеомиелит после имплантации онкопротеза коленного сустава, остаточное укорочение после этапа замещения дефекта – 3. По этиологии укорочения голени представлены: посттравматическое – 22 (из них в сочетании с хроническим посттравматическим остеомиелитом – 4), врожденное – 12, остеомиелит после эндопротезирования, пострезекционный дефект, остаточное укорочение после артродеза коленного сустава – 1, остеомиелит после имплантации онкопротеза коленного сустава, остаточное укорочение после этапа замещения дефекта – 1. Средний возраст пациентов в группе удлинения бедренной кости по Илизарову составил  $32,1 \pm 11,0$  (20-57) лет и  $33,8 \pm 12,6$  (18-60) лет для голени. Величина укорочения в группе 2 для бедренной кости составила  $54,0 \pm 25,5$  мм (от 30 до 150 мм), величина удлинения за один этап лечения составила  $47,2 \pm 13,5$  мм (35 до 70 мм). При удлинении голени величина укорочения составила  $51,3 \pm 33,6$  мм (от 25 до 200 мм), а величина удлинения за один этап лечения –  $41,6 \pm 13,2$  мм (от 20 до 70 мм). Группы были сравнимы по полу, возрасту, величине укорочения и удлинения, без достоверных ( $p > 0,05$ ) различий. Характеристика групп по полу,



возрасту, величине укорочения и удлинения представлена в табл. 2.7, по этиологии в табл. 2.8.

Таблица 2.7. Общая характеристика пациентов.

Группы	Группа 1 (УПГ)		Группа 2 (ЧО)	
	бедро	голень	бедро	голень
Количество случаев	37	22	44	36
Соотношение по полу М/Ж	23/14	18/4	25/19	23/13
Возраст (лет)	35,2±10,4	34,6±12,5	32,1±11,0	33,8±12,6
Величина укорочения (мм)	66,9±40,9	46,9±17,8	54,0±25,5	51,3±33,6

Таблица 2.8. Этиология укорочения.

Этиология		Группа 1 (УПГ)		Группа 2 (ЧО)	
		бедро	голень	бедро	голень
Врожденное		4	9	10	12
Последствия травмы	Всего	30	10	29	22
	В анамнезе хронический остеомиелит в фазе ремиссии	10	3	3	4
Последствия перенесенного остеомиелита	Гематогенного	2	1	1	-
	Послеоперационного (инфекция после эндопротезирования)	1	2	4	2
Всего		37	22	44	36

#### **2.4.2. Методики клинического и рентгенологического обследования пациентов.**

Все включенные в исследование пациенты были обследованы стандартно с использованием объективных, инструментальных и лабораторных методик обследования. У пациентов выяснялись жалобы, анамнез, наличие сопутствующих заболеваний, инфекционный анамнез.

При объективном осмотре пациентов оценивали общее состояние, функции органов и систем организма. Проводили оценку местного статуса: состояние поврежденного сегмента конечности, наличие и характер повреждения мягких тканей, наличие неврологических и сосудистых повреждений.

Лабораторно оценивали клинические и биохимические анализы крови, коагулограмму, группу и резус фактор крови, общий анализ мочи, серологические исследования (гепатиты В, С, RW).

Инструментальные методы исследования включали в себя рентгенографию бедра или голени в 2-х стандартных проекциях, телерентгенографию нижних конечностей в двух стандартных проекциях. Рентгенограммы на предоперационном этапе выполняли в день поступления в стационар всем пациентам. На телерентгенограммах исследовались референтные линии и углы по стандартной общепринятой методике для оценки величины укорочения, наличия других компонентов деформации и размера костномозгового канала (при необходимости дополнительной оценки проходимости костномозгового канала выполнялась КТ). При подозрении на наличие торсионной деформации с целью определения ротации выполнялась КТ нижних конечностей. В ходе предоперационного планирования оценивались изменения положения механической оси конечности после выполнения удлинения на планируемую величину. При выявлении в ходе планирования риска вальгусной деформации на конечном этапе удлинения по анатомической оси с превышением границ референтного интервала предпочтение отдавалось методике удлинения по Илизарову.

#### **2.4.3. Хирургические методики.**

*Удлинение по Илизарову.* При удлинении методом Илизарова использовались стандартные конструкции аппарата Илизарова, применялась методика комбинированного чрескостного остеосинтеза (рис. 2.29).

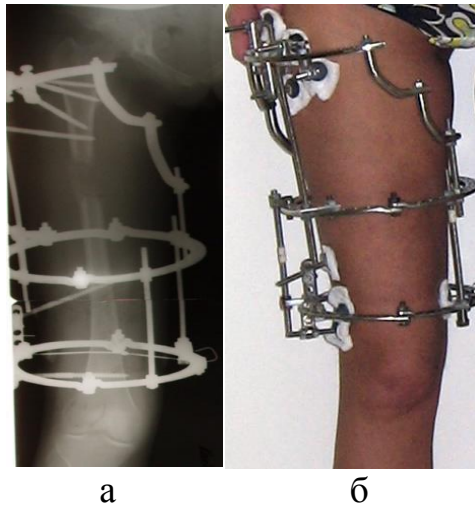


Рис. 2.29. Комбинированный чрескостный остеосинтез бедренной кости: а – рентгенограмма; б – внешний вид конечности в аппарате.

Чрескостные элементы проводили согласно рекомендуемым позициям на основе атласа по проведению чрескостных элементов (Соломин Л.Н., 2015). При наличии импланта (ножка эндопротеза) в канале использовали экстракорткальные фиксаторы (рис. 2.30).

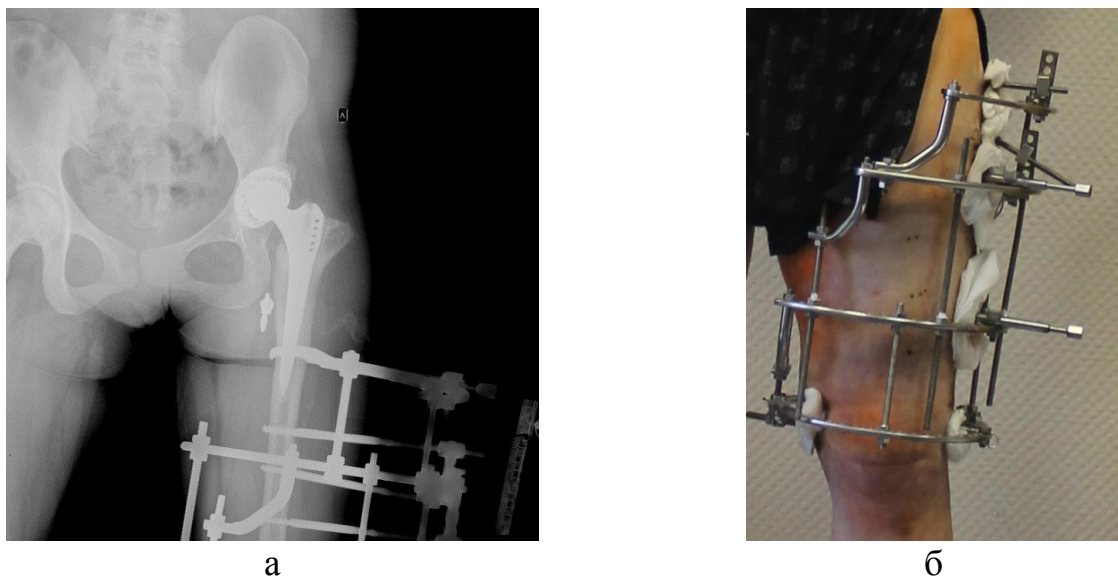


Рис. 2.30. Аппарат внешней фиксации с использованием экстракорткального фиксатора: а – рентгенограмма; б- внешний вид аппарата.

После монтажа аппарата внешней фиксации выполняли остеотомию по Де Бастиани. Дистракцию начинали на 5-е сутки после операции, придерживались стандартного темпа дистракции 1 мм в сутки за 4 приема. При достижении регенератом 3 см, темп дистракции мог быть изменен до 0,75–0,5 мм в сутки, что

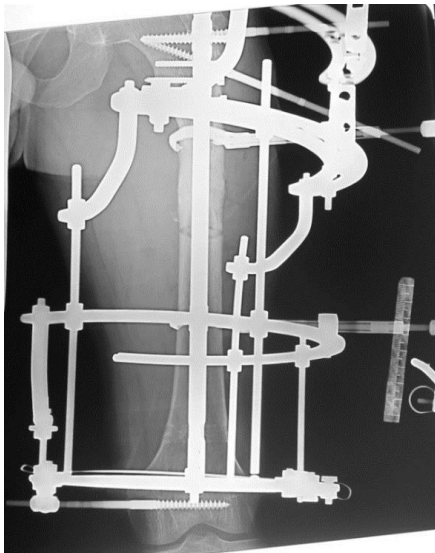
определялось рентгенологической картиной. Начиная с фазы distraction разрешалась дозированная нагрузка на оперированную конечность. Перед демонтажем АВФ нагрузку могли увеличить до полной. В принятии решения о необходимости демонтажа АВФ опирались на правило «трех кортикальных пластинок», после чего проводили клиническую пробу для оценки консолидации. При отсутствии подвижности АВФ демонтировали. Гипсовую иммобилизацию не применяли, на голени использовали съемные тьютора в течение 2-х месяцев. После демонтажа АВФ нагрузку на конечность увеличивали до полной в течение 3–4 недель.

*Для удлинения бедренной и большеберцовой костей поверх гвоздя* использовали стандартные травматологические интрамедуллярные блокируемые стержни, применяемые в клинической практике травматологических отделений. Интрамедуллярный канал римировали в ходе операции до диаметра, превышающего диаметр стержня на 2 мм. В случае, если на предшествующем этапе лечения при интрамедуллярном остеосинтезе перелома или ложного сустава не было учтено это условие римирования, выполняли реosteосинтез. Если удлинение в последующем планировалось и римирование было выполнено с учетом планируемого УПГ, то удаляли дистальные или проксимальные блокирующие винты.

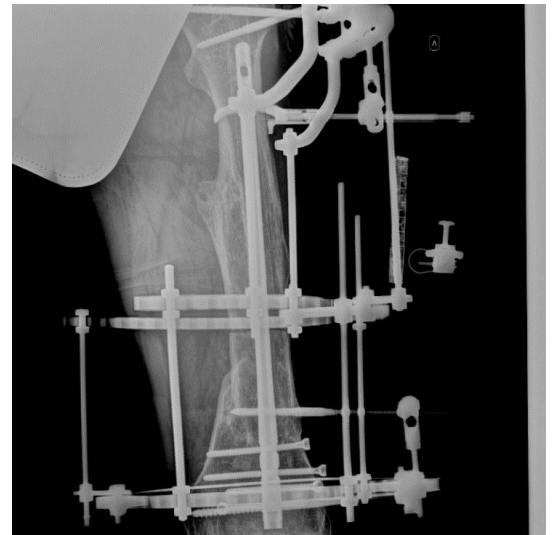
При УПГ бедренной кости, в зависимости от уровня планируемой остеотомии, применяли антеградный (23 случая) или ретроградный (14 случаев) способ введения стержня. При антеградном введении стержня его блокировали проксимально 4 винтами. Аппарат внешней фиксации компоновали с использованием экстракортикальных фиксаторов и стандартных чрескостных элементов на основании разработанного способа удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня (патент РФ на изобретение № 2584555). Остеотомию выполняли пилой Джигли на стержне на границе верхней и средней трети диафиза, пересекая оставшуюся кортикальную пластинку остеотомом, или по Де Бастиани на этапе введения стержня. При ретроградном введении стержня его блокировали в дистальном отделе 3–4 винтами. В компоновке АВФ использовали

тот же принцип, что и при антеградной методике (рис. 2.31 а, б). Остеотомию выполняли на границе средней и нижней трети бедренной кости (уровень VI).

На голени во всех случаях применялся антеградный метод введения интрамедуллярного стержня, который блокировали в проксимальном отделе 3–4 винтами. Аппарат внешней фиксации монтировали на основе 3-х опор. В проксимальной базовой опоре проводили 2 спицы с упорной площадкой и 2 стержня-шурупа тангенциально. На уровне средней трети голени не проводили чрескостных элементов. Дистальную опору устанавливали ниже интрамедуллярного стержня и проводили стандартные чрескостные элементы: стержень-шуруп и 2 спицы с упорной площадкой.



а



б

Рис. 2.31. Аппарат внешней фиксации при УПГ бедренной кости: а – вариант с антеградным введением интрамедуллярного стержня; б – ретроградный вариант введения стержня.

Дистракцию как в области бедра, так и голени начинали с 7–10 суток после операции с темпом 1 мм в сутки за 4 приема. По окончании дистракции стержень блокировали по статической схеме (дистально при антеградной методике или проксимально при ретроградной методике), а аппарат демонтировали. В периоде дистракции и после перехода на внутреннюю фиксацию разрешали дозированную нагрузку при ходьбе при использовании костылей. Полную нагрузку разрешали при формировании кортикальных пластинок на  $\frac{3}{4}$  окружности регенерата на всем его

протяжении (что соответствует условиям демонтажа аппарата при применении только чрескостного остеосинтеза). Динамизации стержня не проводили.

#### **2.4.4. Инструменты субъективной оценки результатов лечения**

Опросник SF-36 (The Short Form-36) использовали для субъективной оценки результатов лечения. Опросник включает восемь показателей и состоит из 36 вопросов: физическое функционирование (PF – Physical Functioning); ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием (RF – Role-Physical Functioning); интенсивность боли (BP – Bodily pain); общее состояние здоровья (GH – General Health); жизненная активность (VT – Vitality); социальное функционирование (SF – Social Functioning); ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием (RE – Role-Emotional), и психологическое здоровье (MH – Mental Health). Каждый показатели тем лучше, чем выше оценка.

Для субъективной оценки функциональных результатов использована шкала LEFS (Lower Extremity Functional Scale). Опросник состоит из 20 вопросов в ходе заполнения пациент дает ответ по 4-х бальной системе: от 0 до 4 баллов. Суммой баллов по всем вопросам оценивают общую функцию нижней конечности:

- 0–19 баллов – выраженные трудности или отсутствие функции;
- 20–39 баллов – значительное ограничение функции;
- 40–59 баллов – умеренное ограничение функции;
- 60–79 баллов – небольшое ограничение;
- 80 баллов – нет ограничения функции.

Оценку выполняли до операции, через 1–2 месяца после перехода на внутреннюю фиксацию (после начала периода фиксации), через 6 месяцев и 1–2 года после перехода к полной нагрузке для группы УПГ, для группы ЧО - после демонтажа аппарата.

Для оценки результатов лечения использована система комплексной оценки результата удлинения D. Paley (1997) в модификации R. D. Burghardt (2016). Система представлена в таблицах 2.9. и 2.10.

Результат оценивается подсчетом суммы полученных баллов в каждом клиническом случае: отличный = от 95 до 100 баллов, хороший = от 75 до 94 баллов, удовлетворительный = от 40 до 74 баллов и плохой = менее 40 баллов.

Таблица 2.9. Система оценки результата удлинения: дополнения (количество баллов, которые необходимо добавить для получения общего балла).

Категория	Отличное (25 баллов)	Хорошее (20 баллов)	Удовлетворительное (10 баллов)	Плохое (0 баллов)
Объем движений в коленном суставе (при удлинении бедра)	Фиксированное сгибание деформация = 0°, сгибание > 120°, или сгибание > 90% от исходного сгибания	Фиксированное сгибание деформация < 5°, сгибание = 101-120°, или сгибание = 67-89% от исходного сгибания	Фиксированное сгибание деформация = 6-15°, сгибание = 70-100°, или сгибание = 50-66% от исходного сгибания	Фиксированное сгибание деформация > 15°, сгибание < 70° или сгибание < 50% от исходного сгибания
Движения в голеностопном суставе (при удлинении голени)	10° или 90% от дооперационного	0 - 10°	< 10° эквинус > 50% от предоперационного	> 10° эквинуса < 50% от предоперационного
Величина удлинения	В пределах 1 см от планируемого результата	В пределах 1,1–3 см от планируемого результата	В пределах 3,1-5 см от планируемого результата	>5 см от планируемого результата
Походка (до /после операции) *	0,1/ 0	1,2 /1	0/1 или 1,2 /2	0 / 2
LDFA (при удлинении бедра)	85-90	82–84 или 91-93	79–81 или 94-96	<79 или >96
МРТА (при удлинении голени)	85 - 90	82–84 или 91-93	79 -81 или 94-96	< 79 или > 96

\* - 0 баллов = нет хромоты, 1 балл = легкая хромота и 2 балла = умеренная хромота.

Таблица 2.9. Система оценки результата удлинения: вычитания (Количество баллов для вычета из общего балла).

Категория	Отличное (0 баллов)	Хорошее (5 баллов)	Удовлетворительное (20 баллов)	Плохое (30 баллов)
Боль**	0,1,2/ 0 или 1 / 1	0,2,3 / 1	1 / 2 или 2 / 3	0 / 2,3 или 1 / 3
Способность выполнять деятельность повседневной жизни или работать (до/после операции)***	0,1,2/ 0	1,2 / 1	1/2 или 0 / 1	0/2

\*\* - 0 баллов = отсутствие боли, 1 балл = легкая боль, 2 балла = умеренная боль и 3 балла = сильная боль.

\*\*\* - 0 = полная активность и полный рабочий день; 1= сниженная активность и уменьшенная работа; 2 = нет активности или нет работы.

#### 2.4.5. Оценка осложнений.

При оценке осложнений выделяли следующие варианты: костные, суставные, инфекционные, нейро-сосудистые, а также осложнения, связанные с металлоконструкциями (как внешними, так и внутренними).

Для оценки осложнений использовали классификацию J. Caton (1991). Которая включает 3 категории осложнений.

Категория I – не имели осложнений или имели осложнения, которые были решены только консервативными мероприятиями и купированы к концу периода удлинения. К ним относили: воспаления в области чрескостных элементов, купированный консервативными методами; легкие контрактуры, поддающиеся физиотерапевтическому лечению; деформация или перелом одного из чрескостных элементов; дистракционная невропатия.

Категория II – имели осложнения, при которых потребовались дополнительные хирургические мероприятия, не предусмотренные на этапе планирования; при этом данные осложнений не повлияли на величину удлинения и лечение было выполнено в запланированном объеме. К данной категории мы относили: перелом (деформацию) чрескостных элементов или внутренних



фиксаторов, которые потребовали их замены; воспаления в месте проведения ЧЭ, потребовавшие удаления; нарушение процесса консолидации (формирование гипотрофического регенерата); деформация или потеря длины регенерата; контрактуры и подвывихи в суставах; преждевременное сращение регенерата; перелом регенерата после демонтажа АВФ.

Категория III – осложнения, при которых остались последствия и/или планируемый результат удлинения достигнут не был. В эту категорию отнесены случаи глубокой инфекции и формирования ложных суставов.

Наличие двух и более осложнений у одного пациента относили к более высокой категории. Воспалением в месте проведения ЧЭ трактовалось нами как осложнение только при наличии клинических признаков воспаления и/или наличия гнойного отделяемого. Контрактура сустава трактовалась как осложнение, если амплитуда движений не была восстановлена на дооперационный уровень за время лечения при стандартной реабилитации. Переломы чрескостных элементов трактовались как осложнение II категории и соответствовали перелому блокирующего винта при комбинированной методике. Перелом же самого интрамедуллярного стержня следует трактовать как более грозное осложнение. Преждевременное сращение или заклинивание стержня трактовалось как осложнение I категории при возможности её устранения при помощи увеличения тема distraction. Различий по группам в трактовке такого осложнения как замедленная консолидация (гипотрофический регенерат) не было.

## **2.5. Методики статистической обработки количественных данных.**

Доказательность выводов диссертационного исследования обеспечивалась использованием программы Excel из офисного приложения Windows. Математическую и статистическую обработку полученных количественных данных осуществляли с помощью Excel, а также при помощи программы по статистической обработке данных Statistica 10 for Windows. Статистическое описание объектов исследования осуществляли с помощью традиционных методов: расчет средних значений изученных показателей (среднего

арифметического значения, медианы, минимального и максимального значения), определение характеристики распределения признака: среднее квадратическое отклонение; частотную и структурную характеристику показателей; вычисление стандартной ошибки среднего и доверительных интервалов. Результаты представлены в табличном и графическом виде.

При статистической обработке данных стендовых исследований, показателей морфометрии, данных оценочных шкал использован t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони для оценки достоверности различий, при сравнения зависимых выборок - парный t-критерий Стьюдента. При статистической обработке показателей клинических результатов для анализа и сравнения результатов использовался критерий Манна-Уитни. Все полученные различия рассматривались на уровне значимости не ниже  $p < 0,05$ .

## ГЛАВА 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

В данной главе диссертационного исследования представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных в два этапа. Первоначально выполнено обоснование экспериментальной модели для методики «Удлинение поверх гвоздя - УПГ». Для обоснования экспериментальной модели проведены исследования в 3 группах животных, методики были описаны в разделе 2.2.2. главы 2.

На втором этапе проведены сравнительные исследования регенератов при удлинении голени кролика по методике удлинение поверх гвоздя и по Илизарову. Методика эксперимента и график выполнения лучевых и морфологических исследований описаны в разделе 2.2.3. главы 2.

**3.1. Разработка и апробация экспериментальной модели для исследования комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза.**

В ходе первого этапа экспериментальной работы в контрольной группе длительность операции составляла  $30 \pm 5$  минут. В группе *Модель №2* наложение аппарата с установкой интрамедуллярного фиксатора занимало от 45 до 60 минут. Длительность оперативного вмешательства в группе *Модель №1*, включающего монтаж АВФ и интрамедуллярную фиксацию, составляла 60–75 минут. Более высокая длительность вмешательства была связана со сложностью блокирования интрамедуллярных спиц. По окончании distraction в группе *Модель №2* дополнительных хирургических вмешательств не требовалось, выполнялось только удаление одной спицы. В группе *Модель №1* выполнялось проксимальное блокирование интрамедуллярных спиц и демонтаж аппарата, что составляло по длительности 35–45 минут.

Как в периоде удлинения, так и в периоде фиксации при сохранении аппарата для имитации блокирования животные начинали опираться на оперированную конечность на первый день после операции, а на 2 сутки передвигались с опорой

на оперированную конечность. Движения в коленном суставе в группах с наличием внешней фиксации были несколько ограничены проксимальной опорой аппарата, хотя это не мешало животному принимать привычную позу в покое и передвигаться (рис. 3.1). В группе, где внешнюю фиксацию демонтировали, животные в большей степени щадили оперированную конечность и начинали опираться на неё к 3 суткам после операции. Движения в коленном суставе были также незначительно ограничены, что было связано с травматизацией мягких тканей элементами конструкций. В группе *Модель №1* в 20% случаев отмечена потеря длины регенерата, эти случаи в сравнительную оценку не включались. Случаев потери длины регенерата в группе *Модель №2* не отмечено. Ни в одной экспериментальной группе нами не отмечено инфекционных осложнений.

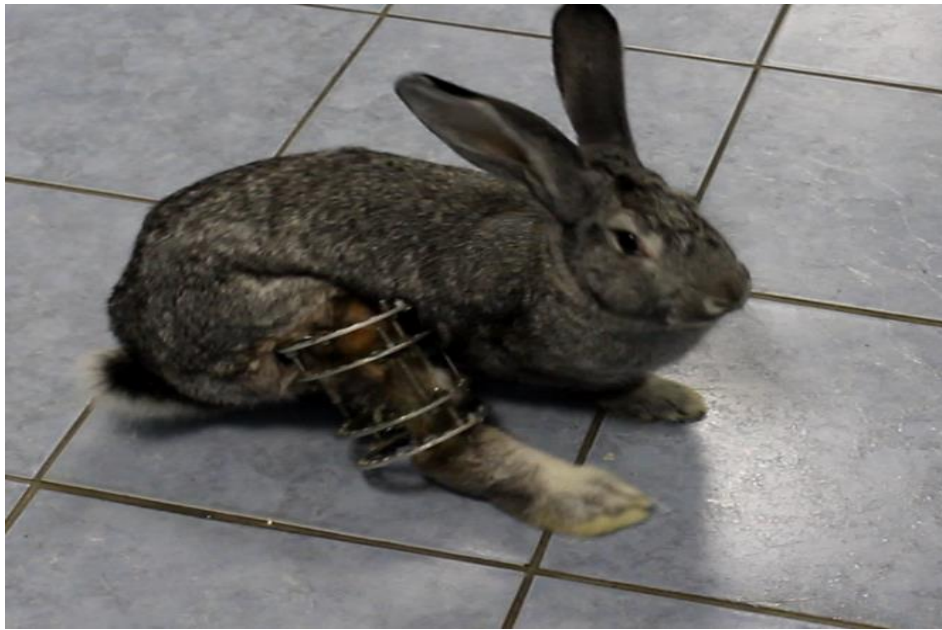


Рис. 3.1. Внешний вид животного в послеоперационном периоде.

В ходе рентгенологического (рентгенография и КТ) и морфологического исследований в моделях №1 и №2 отмечено формирование однотипных по структуре регенератов веретенообразной формы, имелись отличия от регенератов в контрольной группе, которые имели цилиндрическую форму (рис. 3.2 и 3.3).

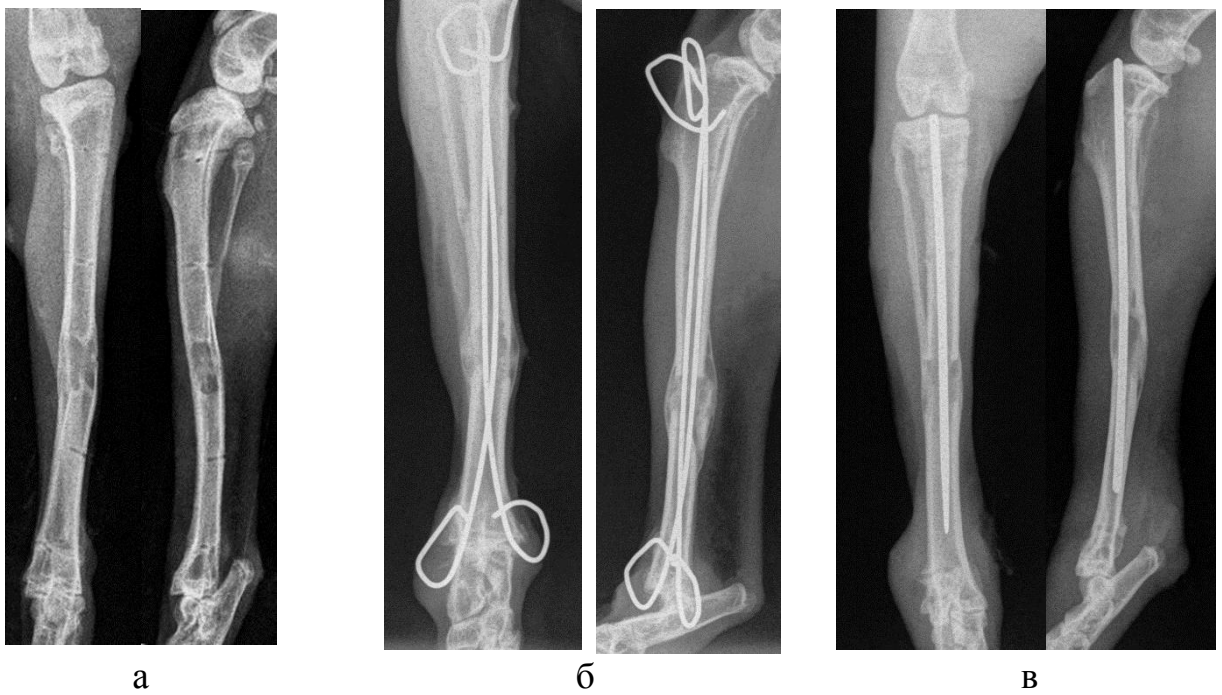


Рис. 3.2. Рентгенограммы, 30 сутки фиксации: а – контрольный регенерат, б – модель №1, в – модель №2.

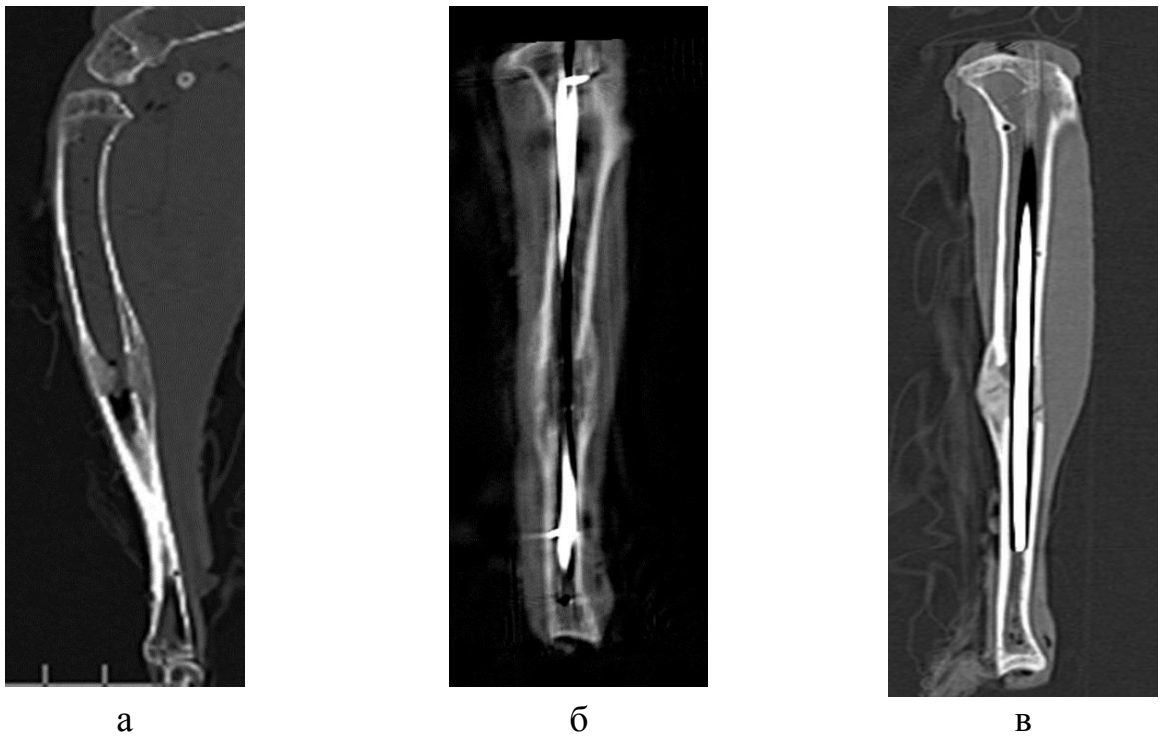


Рис. 3.3. КТ 30 суток фиксации: а – контрольный регенерат, б – модель №1, в – модель №2.

У моделей № 1 и 2 по данным морфологических исследований формирование кортикальных пластинок происходило за счет периостальной зоны (рис. 3.4 б, в), в контрольной группе этот компонент регенерата был выражен, но не столь отчетливо как в группах моделей (рис 3.4 а). Уже к середине периода фиксации формировалась

соединительнотканная капсула вокруг интрамедуллярных спиц, к 30 суткам она утолщалась (рис. 3.5) и в промежутке между капсулой и формирующимися кортикальными пластинками восстанавливались структуры костного мозга, представленного преимущественно жировым (рис. 3.5).

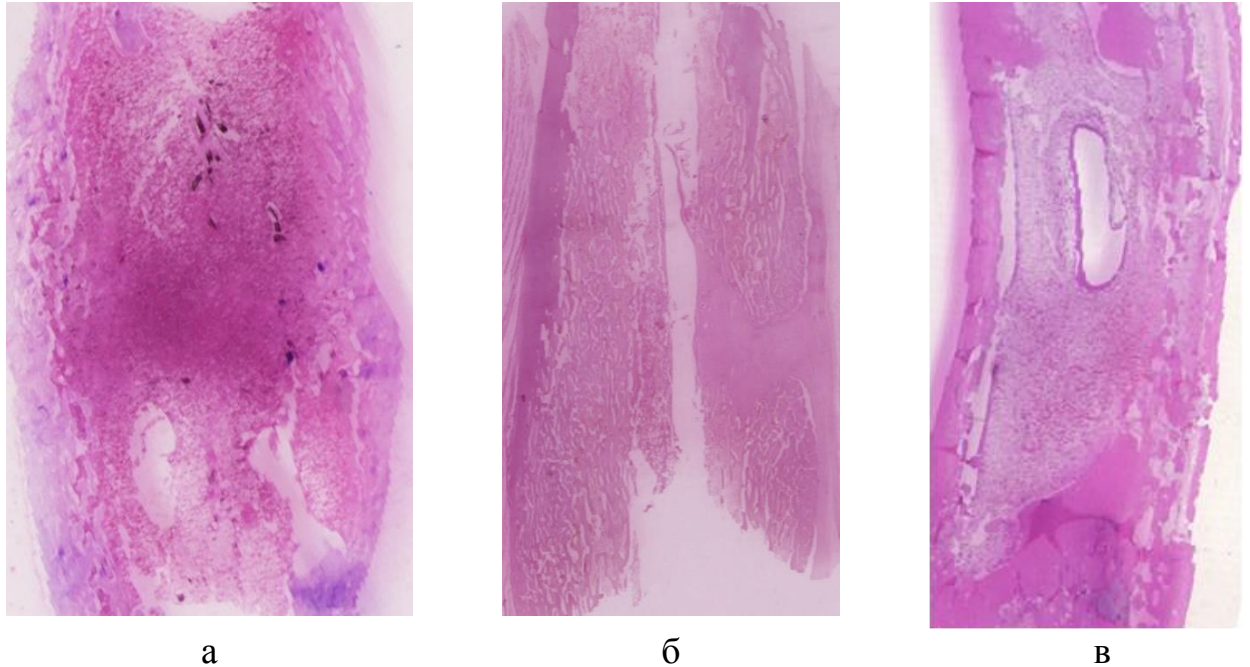


Рис. 3.4. Гистотопограммы, 30 суток фиксации (гематоксилин-эозин): а – в контрольной группе, б – модель №1, в – модель №2.

Экспериментальная работа при разработке модели показала, что структура дистракционных регенератов, полученная в модели №1 и модели №2, имеет сходное строение. Но в модели №2 техника выполнения проще и обладает рядом преимуществ: установка интрамедуллярного фиксатора менее травматична, время операции сокращается вдвое, сохранение аппарата со спицами в базовых опорах, как имитация блокирования, предотвращает деформацию и сминание регенерата. В ходе применения модели №1 потеря длины регенерата отмечена в 20% случаев. Для экспериментальных исследований на мелких животных модель №2 более надёжна и проста, именно она рекомендована для выполнения основной экспериментальной работе на лабораторных животных.

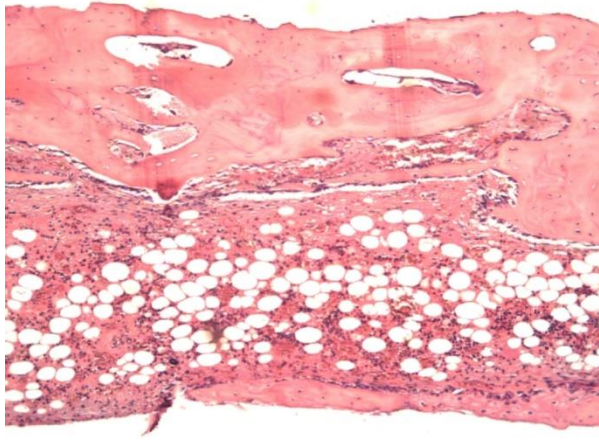


Рис. 3.5. Эндостальная область регенерата, конец периода фиксации, модель 2: (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 50$ ).

### **3.2. Результаты сравнительного экспериментального исследования удлинения по Илизарову и удлинения поверх интрамедуллярного фиксатора.**

#### **3.2.1. Результаты клинического обследования животных**

В ходе всей экспериментальной работы общее состояние животных не изменялись. Аппетит сохранялся. Анестезиологическое пособие в обеих группах животных протекало без осложнений. После проведенного оперативного вмешательства животные начинали передвигаться уже через 30 минут, а аппетит восстанавливался уже к следующему приему пищи. Уже с первого дня послеоперационного периода животные начинали опираться на оперированную конечность, двигательный режим восстанавливался к 3 суткам после операции. Обработки и ухода за ранами в обеих группах не требовалось, инфекционных осложнений в группах не наблюдалось, ни в зоне остеотомии, ни в местах проведения чрескостных элементов. Отек сохранялся в области остеоклазии и доступа в области коленного сустава в среднем до 3 суток после операции. Дистракцию животные переносили спокойно, дополнительных сложностей с АВФ в ходе неё не возникло.

#### **3.2.2. Результаты лучевых методов исследования**

Рентгенологическое обследование в обеих группах начиналось с интраоперационного контроля состоятельности остеоклазии (контроль и опыт) и положения

интрамедуллярного фиксатора (опыт). Далее на 5-е сутки distraction (10 сутки эксперимента) проводился рентген-контроль соответствия темпа distraction диастазу, отставания по темпу в обеих группах в середине периода distraction и по окончании его не было выявлено. Рентгенологически на этом сроке отличий между группами не наблюдались. Следующий рентген-контроль выполнялся по окончании distraction (1 сутки фиксации – 15 сутки эксперимента), во всех случаях был получен distractionный регенерат длиной 10 мм. В сравнительном плане отмечалось появление периостальной реакции на концах фрагментов интактной кости в обеих группах, которая была более выражена в контроле (рис. 3.6 а, б). При выполнении рентгенографии на пятые сутки фиксации (20 сутки эксперимента) в опытной группе более отчетливо выражена активация периостального остеогенеза (рис. 3.7 б) в сравнении с контрольной (рис. 3.7 а).

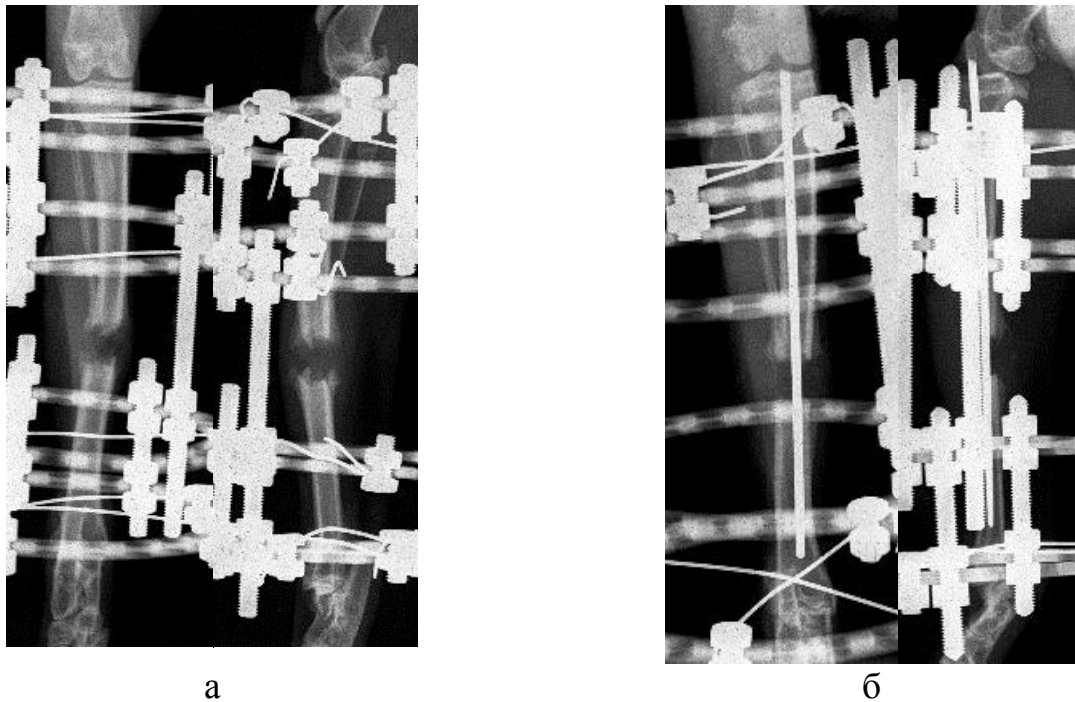


Рис. 3.6. Рентгенограммы, конец периода distraction: а – контроль, б – опыт.



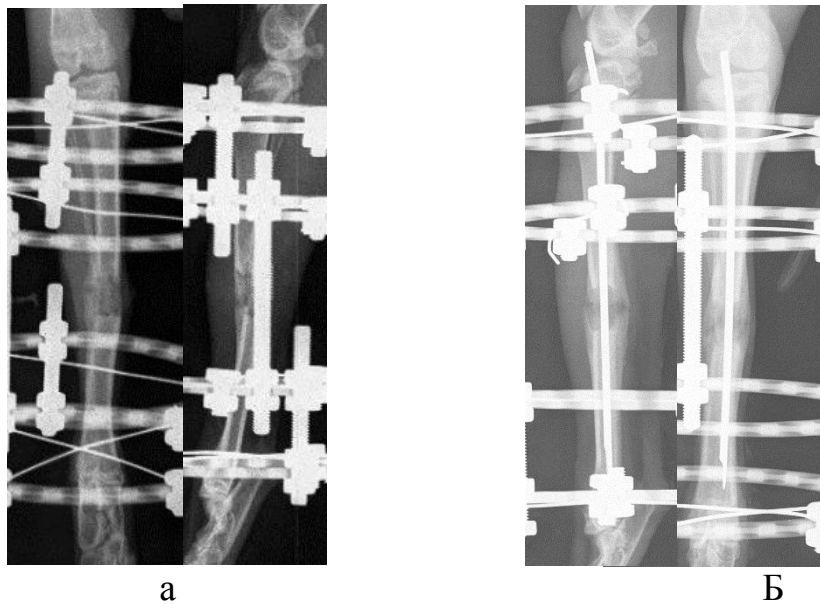


Рис. 3.7. Рентгенограммы, 5 сутки фиксации: а – контроль; б – опыт.

На 15 сутки фиксации (30 сутки эксперимента) в обеих группах отчетливо проявлялось формирование кортикальных пластинок. Periosteальный компонент регенерата в контрольной группе был не выражен (рис. 3.8 а), в опытной группе он, наоборот, хорошо определялся, заходил на участки интактной кости на расстояние до 1 см и имел веретенообразную форму (рис. 3.8 б).

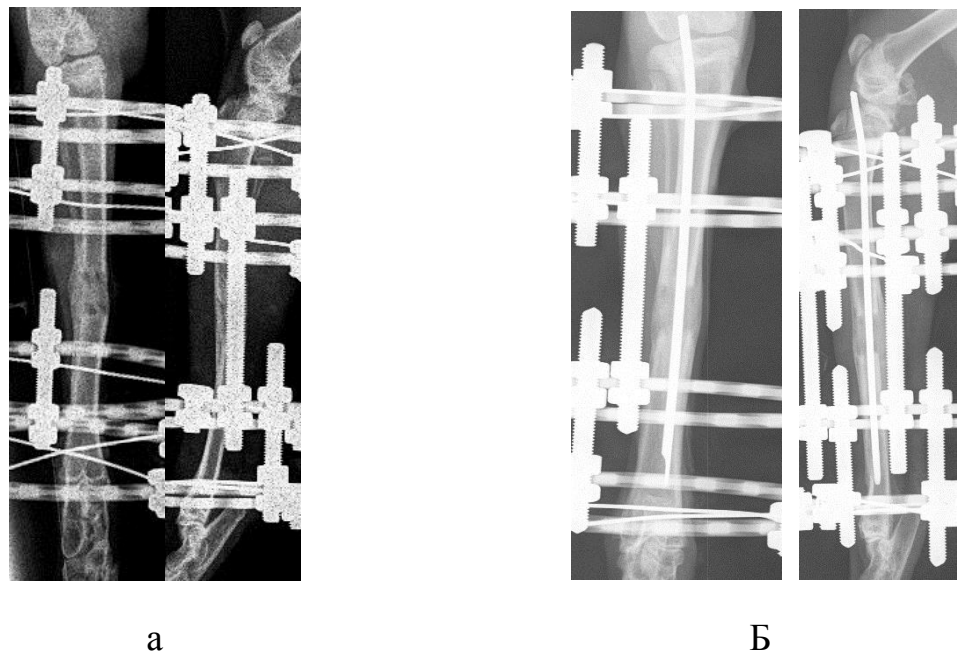


Рис. 3.8. Рентгенограммы, 15 сутки фиксации: а – контроль; б – опыт.

К окончанию периода фиксации (конец эксперимента) были сформированы кортикальные пластинки по всей длине регенерата в обеих группах. В контрольной

группе регенерат имел чаще цилиндрическую форму (хотя встречалась и веретенообразная) с гомогенной структурой перестроившегося регенерата (рис. 3.9 а, в). В опытной группе регенерат имел цилиндрическую форму, диаметр его уменьшался по сравнению с 30 сутками эксперимента. Сформированные кортикальные пластинки имели меньшую по сравнению с интактной костью толщину, соответствовали периостальной зоне, но и переходили на наружные отделы интермедиарной зоны. Структурно регенерат имел более плотные участки по периферии с более рентген-прозрачными участками в центре регенерата (3.9. б, г).

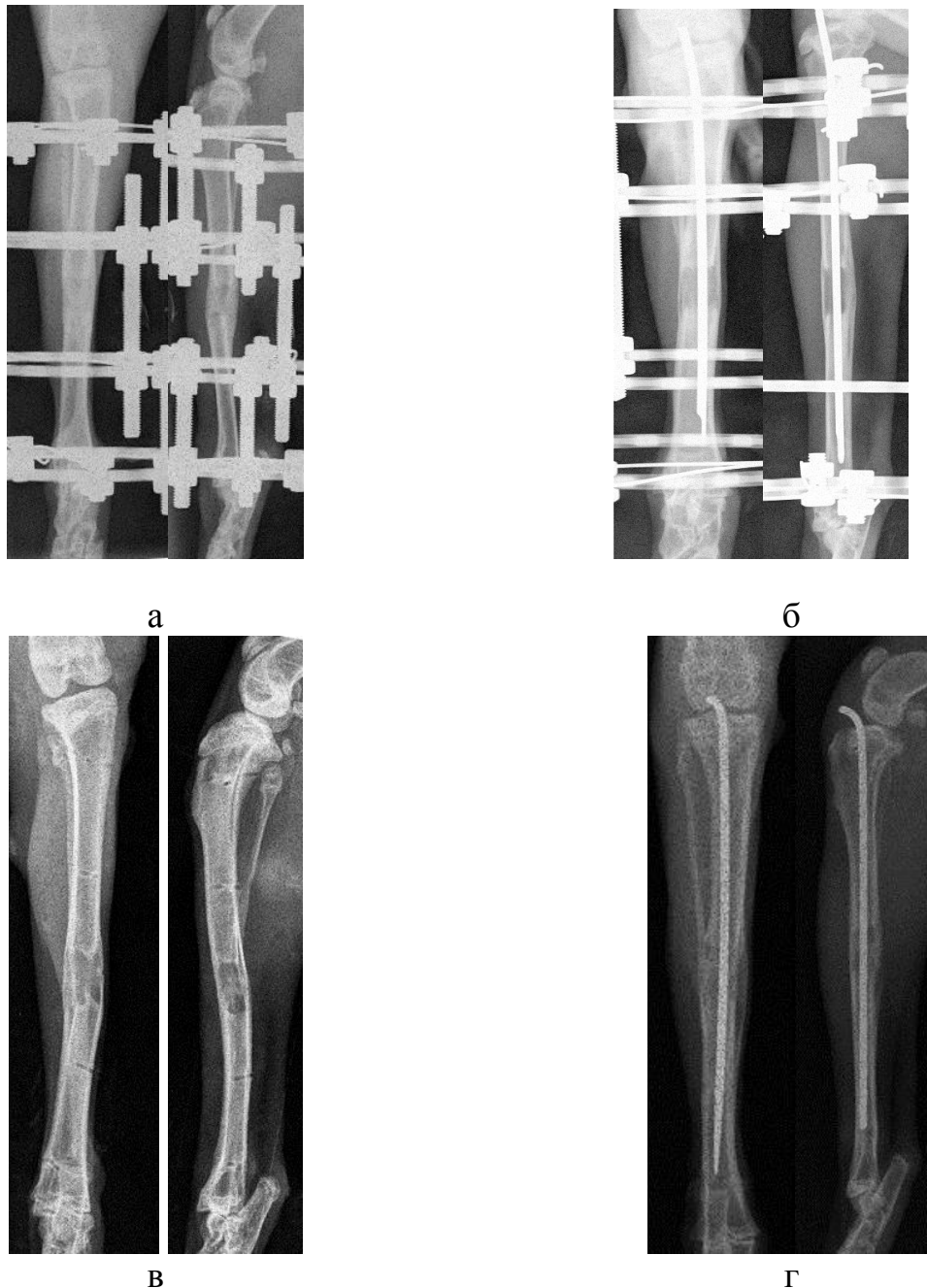
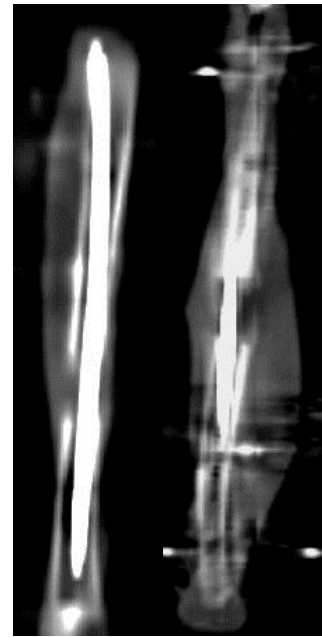


Рис. 3.9. Рентгенограммы, 30 суток фиксации: а – контроль; б – опыт; в – контроль после демонтажа АВФ; г – опыт после демонтажа АВФ.

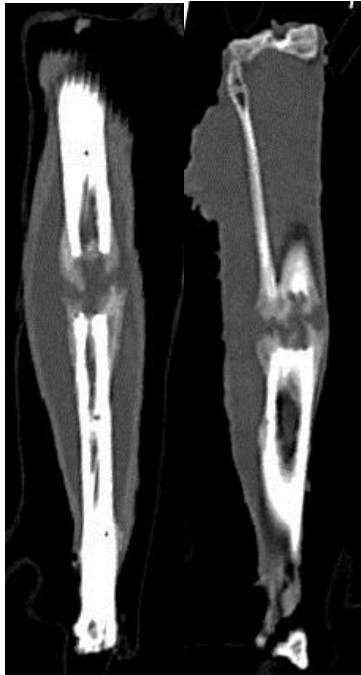
При выполнении компьютерной томографии выявлены схожие результаты. На 1 сутки фиксации у зон, располагающихся около интактных костных кортикалов, возникали очаги оссификации представленные молодыми костными балками. Денситометрия этих зон показала значения плотности характерные для костной ткани (рис. 3.10 а, б).



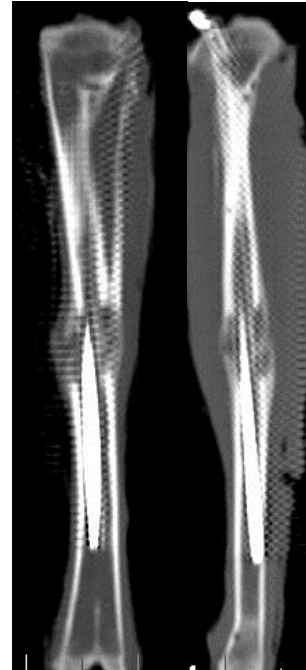
а



б



в



г

Рис. 3.10. Срезы КТ: а – контроль 1-е сутки фиксации; б – опыт, 1-е сутки фиксации; в – контроль, 5-е сутки фиксации; г – опыт, 5-е сутки фиксации.

На сроке первые сутки фиксации по данным КТ в опытной группе были выражены участки формирующейся кости, хоть и минимально (рис. 3.10. б). Основная структура сформированного регенерата имела плотность мягкотканых структур в обеих группах, хотя и можно выделить менее плотную зону по центру сформированного регенерата – ростковую зону. К 5-м суткам фиксации отмечено формирование костной ткани в обеих группах, четко прослеживается ростковая зона регенерата. На этом сроке диаметр регенератов в обеих группах составил 1,0–1,1 см. В контроле периостальная часть регенерата была трудно отличима от интермедиарной, регенерат практически не заходил на интактные участки кортикального слоя (рис. 3.10 в). В опытной отчетливо прослеживался переходящий на проксимальный и дистальный костные фрагменты на расстояние до 5 мм периостальный компонент регенерата (рис. 3.10 г).

В контрольной группе к пятнадцатым суткам фиксации начинали формироваться кортикальные пластинки, регенераты были сформированы равномерно, хотя еще прослеживалась ростковая зона (рис. 3.11 а).

В опытной группе на этом сроке в периостальной зоне регенератов отмечена оссификация, более активно шел процесс формирования кортикальных пластинок, при этом плотность была выше по периостальной зоне по сравнению с интермедиарной в которой также шло формирование участков оссификации. В этой группе ростковая зона регенерата всё ещё прослеживалась (рис. 3.11 б). Зоны оссификации охватывали проксимальные и дистальные интактные участки кортикальных пластинок до величины в длину до 2 см (рис. 3.11 б).

К 30-м суткам фиксации в обеих группах на всем протяжении регенерата были сформированы кортикальные пластинки. Диаметр регенератов был около 1,0–1,1 см. В контрольной группе участки оссификации в интермедиарной зоне регенерата были весьма выражены (рис. 3.11 в), заполняя на большом протяжении интрамедуллярный канал, периостальные слои регенерата были неотличимы от сформированных кортикальных пластинок (рис. 3.12 а). В опытной группе кортикальные пластинки были сформированы из периостального компонента

регенерата и имели четкую границу (рис. 3.12 б). В интермедиарной зоне регенерата были слабо дифференцируемые участки оссификации значительно уступающие по толщине аналогичным из контрольной группы (рис. 3.11 г).

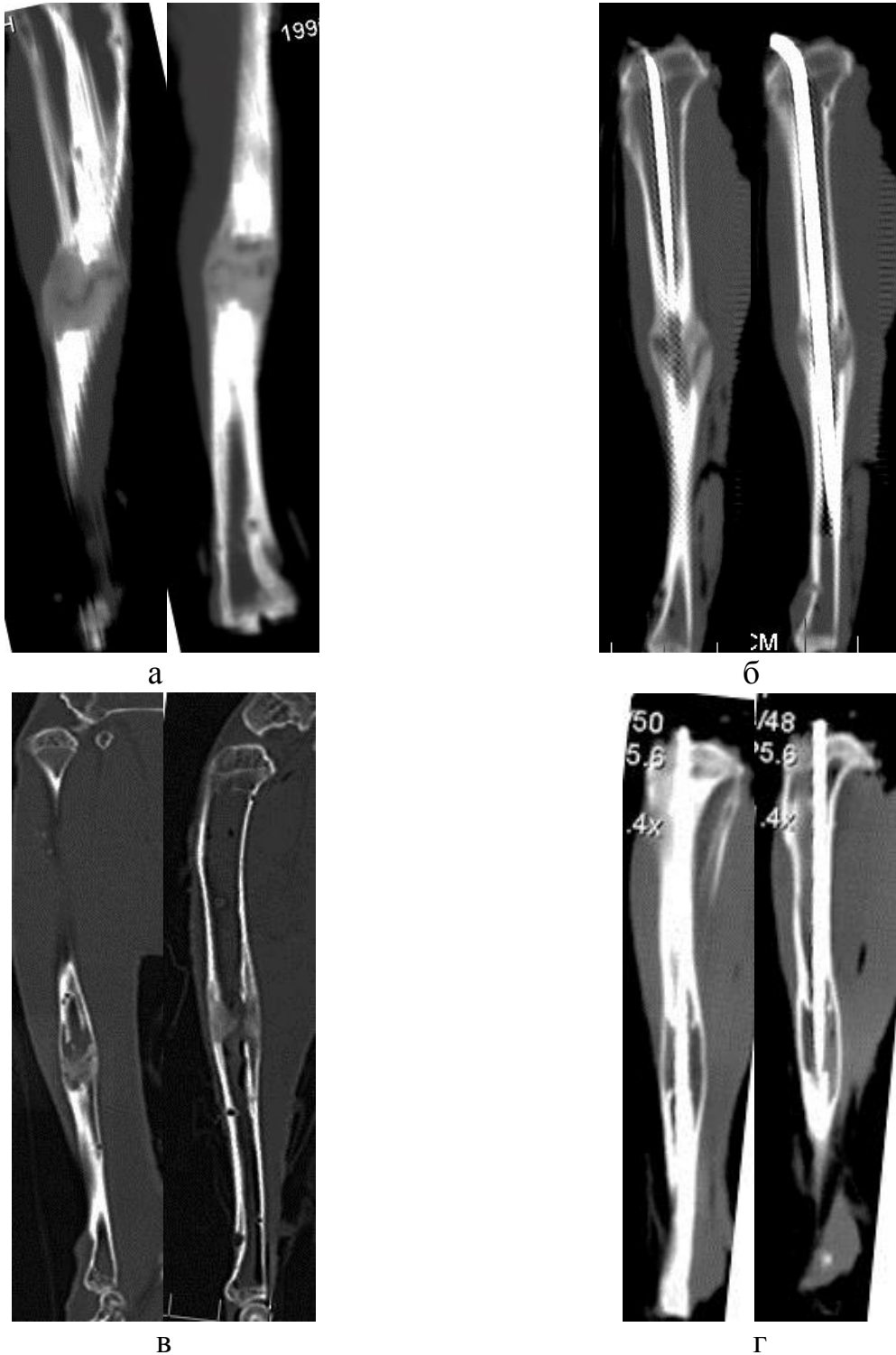


Рис. 3.11. Срезы КТ: а – контроль, 15-е сутки фиксации; б – опыт, 15-е сутки фиксации; в – контроль, 30-е сутки фиксации; г — опыт, 30-е сутки фиксации.

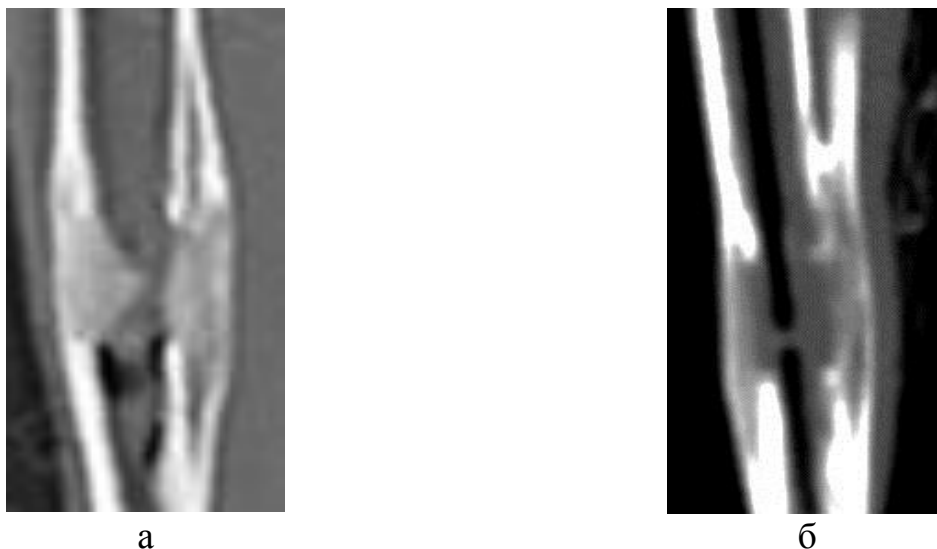


Рис. 3.12. Срезы КТ, 30-е сутки фиксации, мультипланарная реконструкция: а – контроль, б – опыт.

На 5-е сутки фиксации при измерении плотности участков оссификации регенерата установлено, что значения плотности в них приближалась к показателям костной ткани. Между группами не было значимых различий ( $p > 0,05$ ) в значениях плотности (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Показатели плотности костной ткани (НУ) в участках оссификации регенерата, 5-е сутки фиксации.

Группа	Показатели зон с максимальной плотностью ( $M \pm \sigma$ )	Показатели зон с минимальной плотностью ( $M \pm \sigma$ )
Контрольная	$773,9 \pm 266,5$	$298,0 \pm 148,1$
Опытная	$874,1 \pm 262,3$	$386,1 \pm 156,0$

В середине периода фиксации (табл. 3.2) значимых различий между группами также не выявлено ( $p > 0,05$ ).

Таблица 3.2. Показатели плотности костной ткани (НУ) в участках оссификации регенерата, 15-е сутки фиксации.

Группа	Показатели зон с максимальной плотностью ( $M \pm \sigma$ )	Показатели зон с минимальной плотностью ( $M \pm \sigma$ )
Контрольная	$895,8 \pm 94,3$	$463,1 \pm 248,6$
Опытная	$824,9 \pm 296,3$	$405,2 \pm 200,9$

К концу эксперимента в обеих группах плотность сформированных кортикальных пластинок соответствовала интактной кортикальной кости кролика и достоверно ( $p > 0,05$ ) не было отличий между группами (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Показатели плотности костной ткани (НУ) сформированных кортикальных пластинок, 30-е сутки фиксации.

Группа	Показатели зон с максимальной плотностью ( $M \pm \sigma$ )	Показатели зон с минимальной плотностью ( $M \pm \sigma$ )
Контрольная	$1326,8 \pm 686,7$	$578,5 \pm 394,4$
Опытная	$1518,5 \pm 194,5$	$645,1 \pm 298,1$

### 3.2.3. Результаты морфологии

На 15 сутки эксперимента в контрольной группе регенерат был представлен рыхлой волокнистой соединительной тканью, в структуре регенерата определялись очаги хрящевой ткани. По краям кортикальных пластинок происходили остеорезорбтивные процессы, определялись скопления остеокластов. Периостально на кортикальных пластинках отмечалось формирование хаотично расположенных костных балок. В опытной группе регенерат имел схожее строение. Отличия имелись и касались, в первую очередь, области канала. Интрамедуллярная спица, заполняющая канал, не имела покрывающей соединительнотканной капсулы.

На 1-е сутки фиксации (окончание периода distraction) в контрольной группе регенерат был представлен рыхлой волокнистой тканью с продольным расположением по ходу distractionного усилия коллагеновых волокон и фибробластов (рис. 3.13 а), в структуре регенерата отмечалась обширная сосудистая сеть представленная тонкостенными сосудами (рис. 3.13 б), в центральной части регенерата определялись участки кровоизлияния (рис. 3.13 в). По наружным краям по середине регенерата имелись очаги хондрогенеза - ростковая зона (рис. 3.13 г). В зонах, прилежащих к интактной кортикальной кости, преимущественно на уровне интермедиарной зоны с переходом в периостальную и эндостальную (рис. 3.13 д) формировалась губчатая кость, представленная тонкими балками, прорастающими в регенерат. В костномозговом канале проксимального и

дистального костных фрагментов располагался жировой и кроветворный костный мозг (рис. 3.13.е).

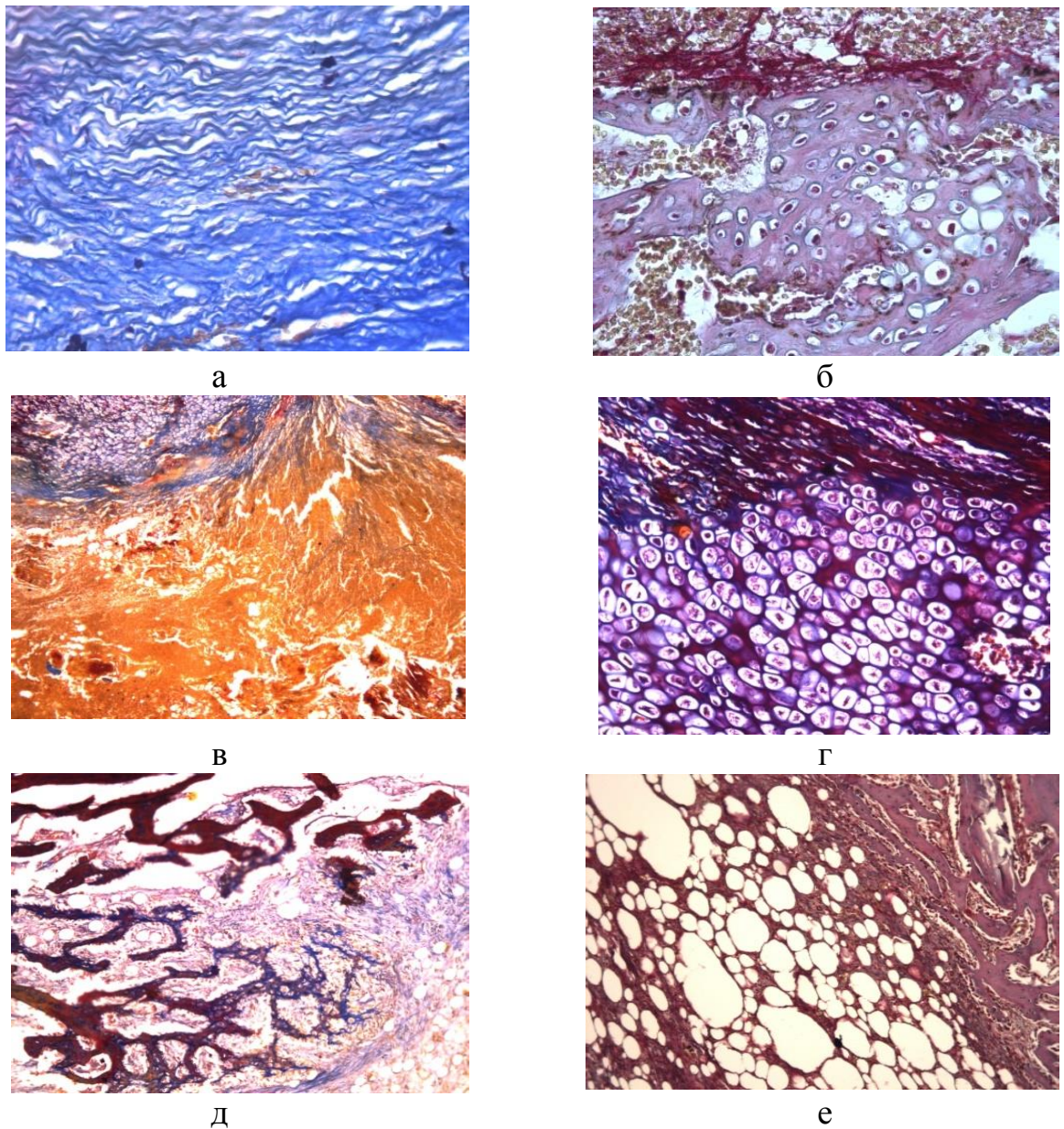


Рис. 3.13. Регенерат в контрольной группе на 1-е сутки фиксации: а – продольно расположенные коллагеновые волокна (окраска по Маллори, ув.  $\times 400$ ); б – сосуды в толще регенерата (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 400$ ); в – кровоизлияние (окраска по Маллори, ув.  $\times 50$ ); г – очаг хондрогенеза (окраска по Маллори, ув.  $\times 400$ ); д – новообразованные костные балки (окраска по Маллори, ув.  $\times 100$ ); е – костный мозг (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 400$ ).



В опытной группе на этом же сроке значимых отличий от контрольной группы не выявлено. Регенерат также был представлен рыхлой волокнистой тканью с продольным расположением коллагеновых волокон по ходу дистракционного усилия (рис. 3.14 а). По середине регенерата по периферии отмечалась ростковая зона, представленная участками хондрогенеза (рис. 3.14 б). Формирование костных балок интенсивнее происходило на поверхности интактных кортикальных пластинок и в поверхностных слоях толщи регенерата (рис. 3.14 в), хотя отмечались сформированные костные балки и в интермедиарной зоне (рис. 3.14 г). На этом сроке уже начиналось формирование капсулы около интрамедуллярного стержня (рис. 3.14 д). В костномозговой полости не занятой интрамедуллярным фиксатором выявлены участки сохранившегося костного мозга, расположенного вдоль интактных кортикалов, преимущественно в проксимальном фрагменте кости (рис. 3.14 е).

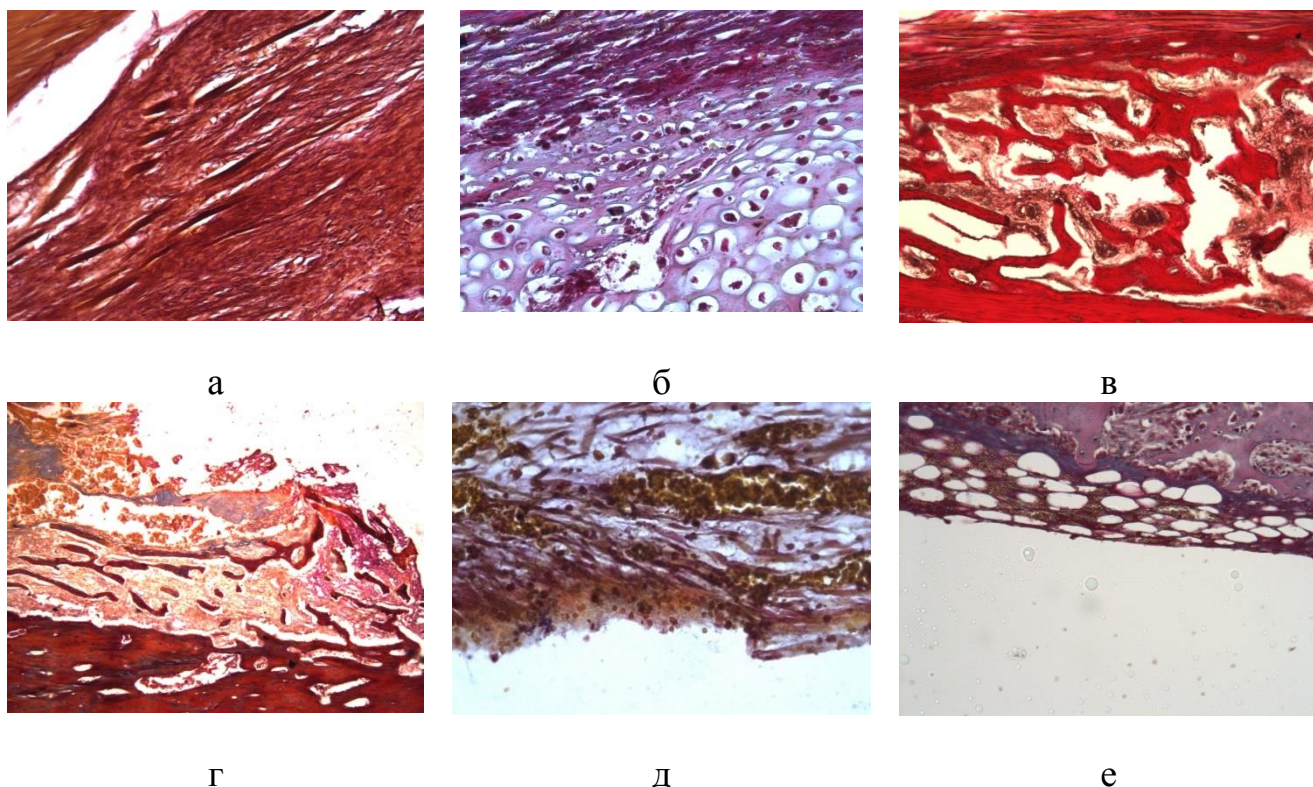


Рис. 3.14. Регенерат в опытной группе на 1-е сутки фиксации: а – продольно расположенные коллагеновые волокна (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 400$ ); б – хондрогенез (окраска по Маллори, ув.  $\times 400$ ); в – костные балки в периосте (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 100$ ); г – костные балки в эндосте (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 100$ ); д – формирующаяся капсула (окраска по Маллори, ув.  $\times 400$ ); е – костный мозг в канале (окраска по Маллори, ув.  $\times 400$ ).

В обеих экспериментальных группах к первым суткам фиксации происходит активизация процессов костеобразования. Различия в группах касаются зон активации остеогенеза: периостальная зона, прилегающая к интактной кости в опытной группе, интермедиарная и эндостальная зоны в контрольной. В центральной зоне регенератов в обеих группах имеются признаки хондрогенеза.

На 5 сутки фиксации в контрольной группе регенерат содержал большое количество костных балок, распространяющихся от периферии к костномозговому каналу (рис. 3.15 а), практически смыкаясь в центре костномозгового канала на участках эндостальной зоны ближе к проксимальному фрагменту большеберцовой кости кролика (рис. 3.15 б). Костные балки сливались, формируя густую сеть губчатой кости, поверхность балок содержала множество остеогенных клеток (рис. 3.15 в).

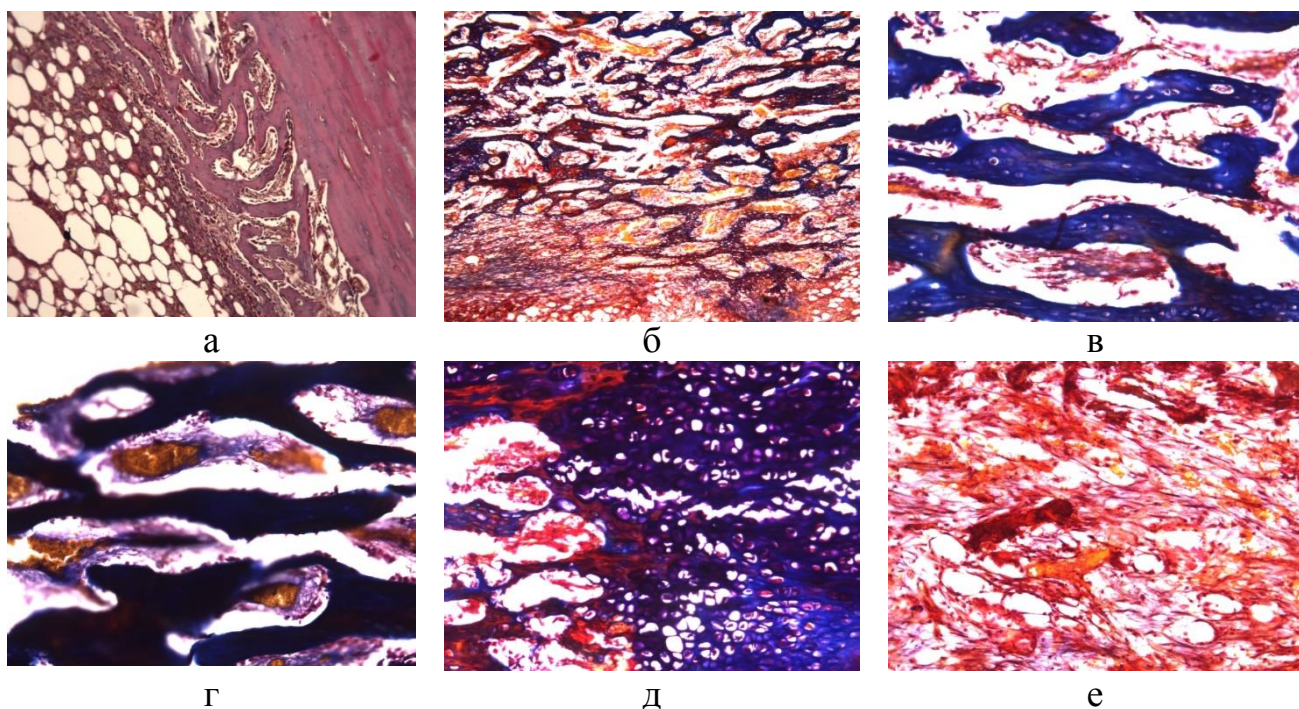
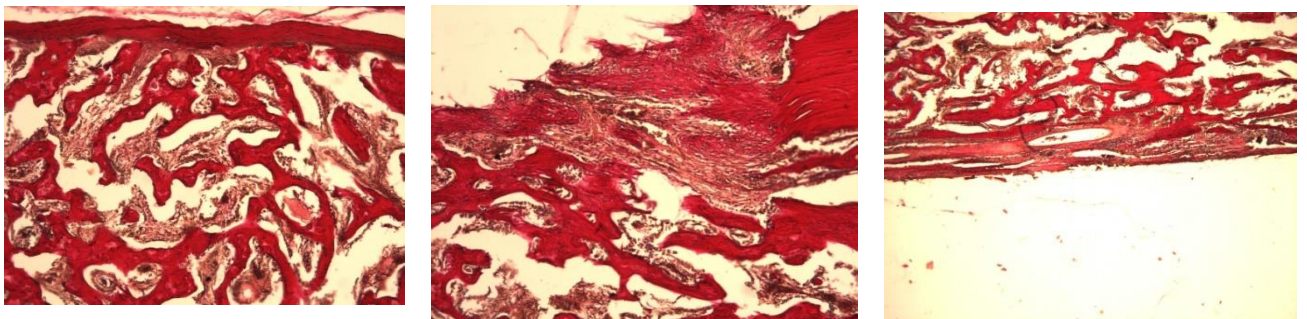


Рис. 3.15. Регенерат в контрольной группе, 5-е сутки фиксации: а – эндостальная зона (гематоксилин-эозин, ув.  $\times 100$ ); б – соединение с периостальной частью (окраска по Маллори, ув.  $\times 50$ ); в – остеобласты и костные балки (окраска по Маллори, ув.  $\times 200$ ); г – компактизация балок (окраска по Маллори, ув.  $\times 200$ ); д – хондрогенез (окраска по Маллори, ув.  $\times 200$ ); е – жировой костный мозг (окраска по Маллори, ув.  $\times 200$ ).

В участках интермедиарной зоны уже отмечались очаги компактизации костных балок (рис. 3.15 г). В ростковая зона имела участки хондрального остеогенеза (рис. 3.15 д). В костномозговом канале появлялись участки жирового костного мозга (рис. 3.15 е).

В опытной группе на 5-е сутки фиксации регенерат был представлен молодой губчатой костью (рис. 3.16 а), которая располагалась преимущественно во внешних отделах регенерата. При этом костные балки формировались в периостальных зонах интактных кортикальных пластинок проксимально и дистально более выражено, чем в контрольной группе. В этих участках отмечались явления компактизации. (рис. 3.16 б). Костные балки не заходили на уровень эндостальной зоны. Хотя в костномозговом канале определялась тонкая зона молодой губчатой кости в участках, не занятых интрамедуллярным фиксатором, между которым и регенератом формировалась соединительнотканная капсула (рис. 3.16 в). Также в регенерате определялись признаки хондрального остеогенеза в области ростковой зоны регенерата.



а

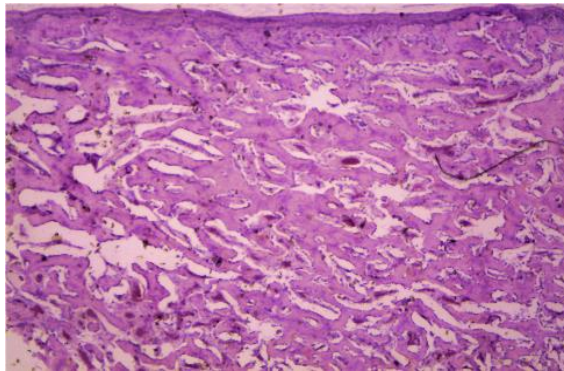
б

в

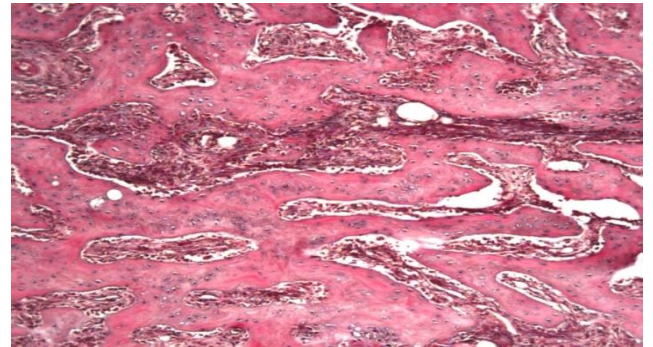
Рис. 3.16. Регенерат в опытной группе, 5-е сутки фиксации, окраска гематоксилином-эозином: а – губчатая кость (ув.  $\times 100$ ); б – участки компактизации с(ув.  $\times 100$ ); в – губчатая кость в канале, капсула (ув.  $\times 100$ ).

5 сутки фиксации в группах характеризуются появлением процессов компактизации, однако, в опытной группе основные участки этих процессов располагаются в периостальной зоне, тогда как в контрольной в основном в интермедиарной.

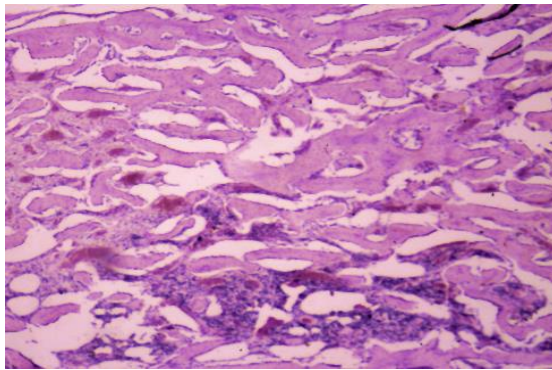
В контрольной группе на 15-е сутки фиксации периостальная часть регенерата соединялась с эндостальной, формируя сплошную сеть костных балок с участками созревания в пластинчатую кость (рис. 3.17 а, в). Отмечались очаги хондрального остеогенеза в ростковой зоне (рис. 3.17 д). Костные балки частично заполняли костномозговой канал, который был заполнен жировым костным мозгом с островками кроветворного.



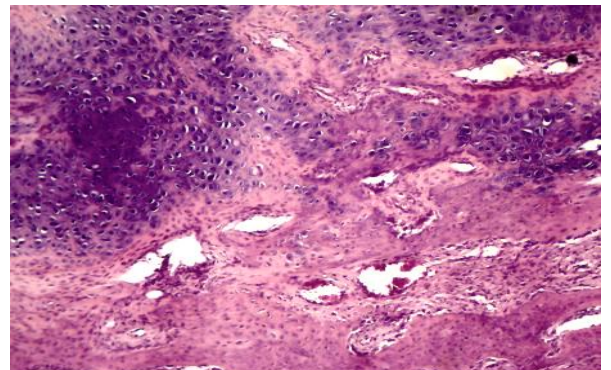
а



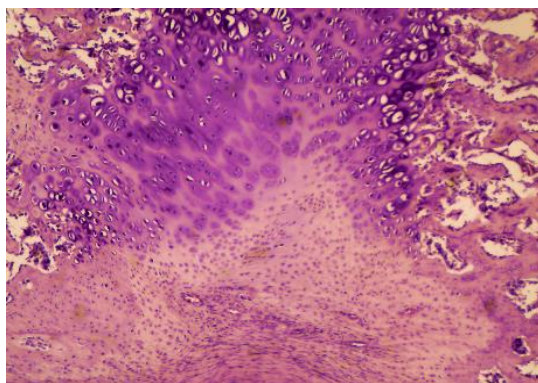
б



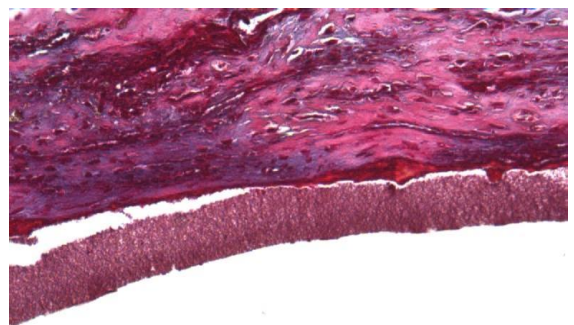
в



г



д



е

Рис. 3.17. Регенераты на 15-е сутки фиксации (гематоксилин-эозин): а – периостальная и интермедиарная области в контрольной группе (ув.  $\times 50$ ); б – периостальный и интермедиарная области в опытной группе (ув.  $\times 100$ ); в – эндостальная область в контрольной группе (ув.  $\times 100$ ); г – эндостальная область в опытной группе (ув.  $\times 50$ ); д – хрящевая ткань в контрольной группе (ув.  $\times 100$ ); е – хрящевая ткань в опытной группе (ув.  $\times 100$ ).

В опытной группе к 15-м суткам фиксации регенерат был представлен молодыми костными балками (рис. 3.17 б), также с участками компактизации в периостальной области. Незрелая кость регенерата смыкается с эндостальной частью и избыточным периостальным регенератом. Сам периостальный компонент отличался большей выраженностью по сравнению с контрольным. В интермедиарной зоне также присутствовали костные балки, но отличались большей разрежённостью по сравнению с контролем. Имелись очаги энхондрального костеобразования (рис. 3.17 г). Интрамедуллярный фиксатор был отделен плотной соединительнотканной капсулой (рис. 3.17 е).

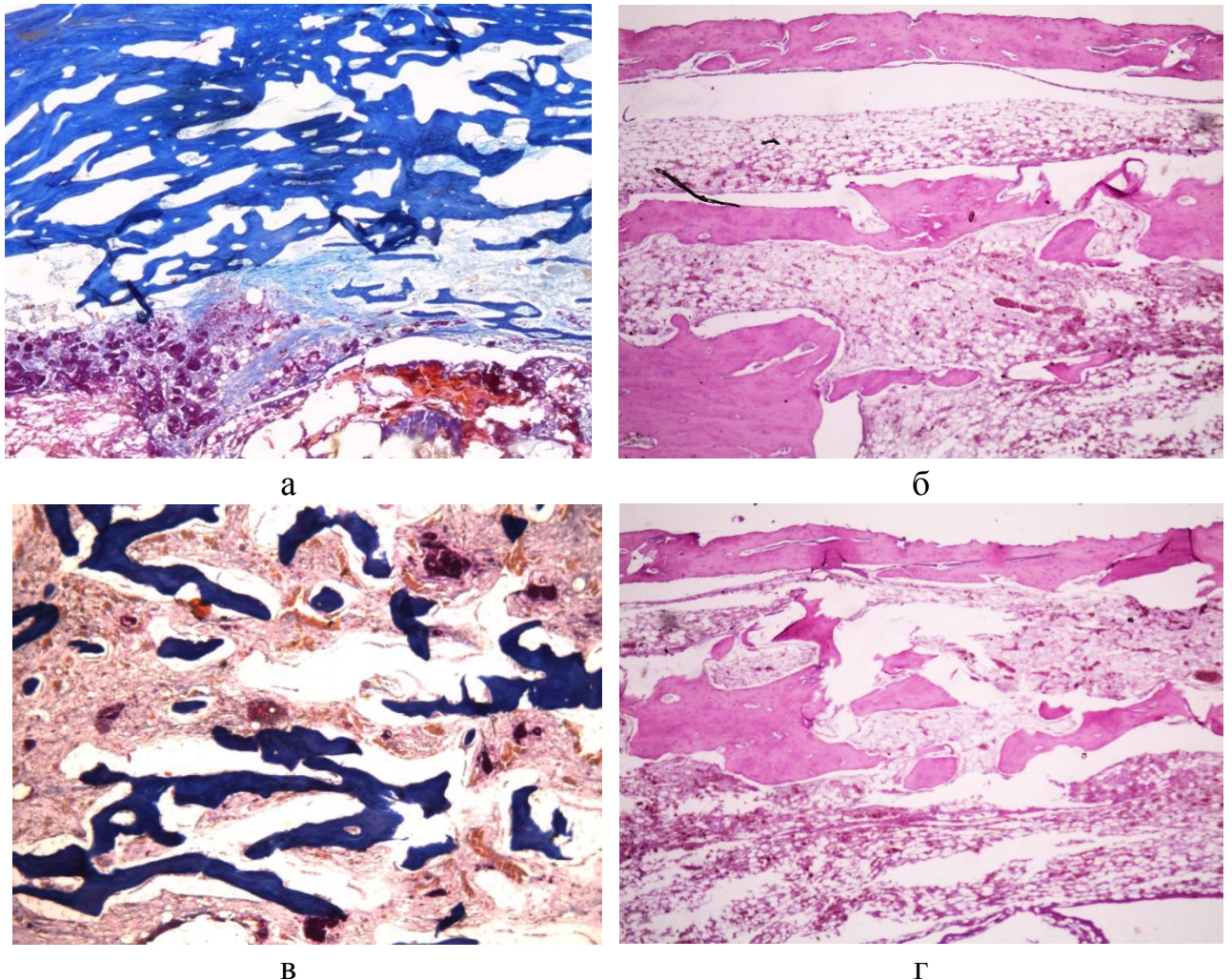


Рис. 3.18. Регенерат, 30 суток фиксации: а – контрольная группа, периостальная и интермедиарная область (окраска по Маллори, ув.×50); б – опытная группа, периостальная и интермедиарная область (гематоксилин-эозин, ув.×50); в – контрольная группа, эндостальная область и канал (окраска по Маллори, ув.×50); г – опытная группа, эндостальная область и канал (гематоксилин-эозин, ув.×50).

К концу периода фиксации в контрольной группе формируется непрерывная кортикальная пластинка. Представлена она незрелой костью, локализованной преимущественно в интермедиарной области. В периостальной зоне происходит уплотнение костных балок с уменьшением толщины слоя (рис. 3.18 а), центральная область регенерата заполнена костным мозгом или частично волокнистой тканью с остатками рассасывающихся балок губчатой кости регенерата (рис. 3.18 в).

В опытной группе к 30-м суткам фиксации также формируются кортикальные пластинки, представленные компактизированной костью. Однако, они отличаются меньшей толщиной и большей степенью компактизации по сравнению с контрольной группой. При этом костные балки сосредоточены преимущественно в периостальной области регенерата (рис. 3.18 б). В интермедиарной области определяются отдельно расположенные резорбирующиеся костные балки (рис. 3.18 б,г). В центральных участках регенерата, не занятых интрамедуллярным фиксатором, имеются элементы костного мозга. Вокруг интрамедуллярного фиксатора имеется соединительнотканная капсула.

К 30-м суткам фиксации в области регенерата формируется непрерывная кортикальная пластинка, при этом в группах имеются отличия в характере их формирования: в контрольной группе образование преимущественно происходит в интермедиарной области, а в опытной – из периостальной области. За исключением области, занимаемой интрамедуллярным фиксатором, костномозговой канал в опытной группе заполнен костным мозгом.

#### **3.2.4. Результаты морфометрии**

Результаты морфометрической оценки площади, занимаемой костными балками в опытной и контрольной группах на всех сроках наблюдения представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4. Площадь, занимаемая костными балками в контрольной группе (%;  $M \pm m$ ).

Срок фиксации	1-е сутки	5-е сутки	15-е сутки	30-е сутки
I	27,9±9,22	45,37±4,19	42,72±4,14	60,21±4,54
II	42,94±13,48	47,53±5,43	35,67±4,16	47,77±5,34
III	62,4±4,7	44,88±13,41	31,55±7,56	51,63±6,67
IV	38,9±10,52	47,65±3,56	32,45±2,15	43,44±4,62
V	36,35±13,66	44,93±4,56	33,67±2,21	35,99±3,47
VI	40,11±2,65	44,53±12,46	28,41±4,59	36,92±4,99

Таблица 3.5. Площадь, занимаемая костными балками в опытной группе (%;  $M \pm m$ ).

Срок фиксации	1-е сутки	5-е сутки	15-е сутки	30-е сутки
I	49,21±9,35	40,26±6,33	53,97±3,96	53,03±5,23
II	28,49±8,99	40,14±6,72	39,14±3,50	50,03±5,01
III	14,75±5,18	19,24±10,03	6,08±1,94	56,41±6,95
IV	55,57±8,69	40,71±6,46	42,27±2,84	26,92±3,56
V	32,13±8,31	44,69±5,87	39,47±4,31	24,51±3,99
VI	14,78±9,41	18,58±11,43	3,63±2,02	29,59±3,70

Площадь, занимаемая костными балками в I зоне на сроке первые сутки фиксации, составляла для контрольной группы 27,90±9,22%, для опытной – 49,21±9,35%. На 5-е сутки фиксации в обеих группах площадь варьировала в диапазоне 40–45% без достоверной разницы показателей между группами ( $p > 0,05$ ). К середине периода фиксации в зоне I показатели в опытной группе повышались в сравнении с контрольной и имели значения 53,97±3,96 и 42,72±4,14 соответственно, что было статистически достоверным ( $t = 2,027$ ;  $p < 0,05$ ). К 30-м суткам фиксации в зоне I значения площади костных балок были между группами в интервале 53–60 % и не имели статистически значимых отличий между группами ( $p > 0,05$ ).

Во II зоне на ранних сроках фиксации показатели площади, занимаемой костными балками, в контрольной группе находились в интервале 43–48%, а в опытной менялись с 28% до 40%, без статистически значимой разницы показателей между группами ( $p>0,05$ ). В середине периода фиксации в обеих группах отмечено некоторое снижение в показателях до 35–39%. К 30-м суткам площадь костных балок в группах повышалась до 50%. Достоверных различий в показателях между группами на этих сроках в этой зоне не было ( $p>0,05$ ).

В III зоне в 1-е сутки фиксации в контрольной группе значение площади было выше в 4,4 раза, чем в опытной группе ( $62,40\pm 4,70$  и  $14,75\pm 5,18$  соответственно) со статистически значимой разницей показателей ( $t=7,94$ ;  $p<0,05$ ). На 5-е сутки фиксации в контрольной группе показатель снижался до  $44,88\pm 13,41$ , но всё ещё был в 2,3 раза больше, чем в опытной группе ( $19,24\pm 10,03$ ). К 15-м суткам фиксации площадь костных балок в опытной группе снижалась ещё больше ( $6,08\pm 1,94$ ) и уступала показателя в контрольной группе в 5 раз ( $31,55\pm 7,56$ ), с достоверной разницей между группами ( $t=3,49$ ;  $p<0,05$ ). К концу периода фиксации показатели в обеих группах имели сопоставимые значения  $56,41\pm 6,95$  (опыт) и  $51,63\pm 6,67$  (контроль) и не имели статистически значимых отличий ( $p>0,05$ ).

В IV зоне на ранних сроках фиксации показатели площади, занимаемой костными балками в контрольной группе, увеличивались с 38 до 47%, а в опытной группе снижалась с 55 до 40%. К середине периода фиксации площадь, занимаемая костными балками, в IV зоне в опытной группе практически не изменялась ( $42,27\pm 2,84$ ) от предыдущего срока, а в контрольной снижалась ( $32,45\pm 2,15\%$ ) при этом различия между группами были достоверны ( $t=2,82$ ;  $p<0,05$ ). К концу периода фиксации в IV зоне показатели в контрольной группе повышались по сравнению с предыдущим сроком ( $43,44\pm 4,62\%$ ) и превышали аналогичные в опытной на 1,6 раза ( $26,92\pm 3,56\%$ ), где отмечено снижение по сравнению с предыдущим сроком. Значения на сроках 15 и 30 суток фиксации имели достоверные различия между группами ( $p<0,05$ ).

В V зоне на сроке 1-е, 5-е сутки и 15-е сутки фиксации значения в обеих группах колебались от 32 до 45% без значимых отличий ( $p>0,05$ ). К 30-м суткам



фиксации показатели контрольной группы ( $35,99 \pm 3,47$ ) превышали значения в опытной ( $26,92 \pm 3,56$ ), со статистически значимой разницей между показателями ( $p < 0,05$ ).

В зоне VI площадь, занимаемая костными балками, в первые периоды фиксации в контрольной группе колебалась в пределах 40–44%, а в опытной – 14–18%, хотя значимой разницы между группами не выявлено ( $t = 1,236$ ;  $p > 0,05$ ). К середине периода фиксации показатели контрольной группы ( $28,41 \pm 4,59$ ) значительно превышали показатели в опытной ( $3,63 \pm 2,02$ ) ( $t = 3,91$ ;  $p < 0,05$ ). К концу периода фиксации показатель в опытной группе возрастал и выравнивался с контрольной без значимой разницы в показателях ( $p > 0,05$ ).

При морфометрической оценке площади костных балок в периостальной области регенерата (зоны I, II, III) показало, что несмотря на колебания в значениях на промежуточных сроках к концу периода фиксации показатели в обеих группах выравниваются и имеют сопоставимый уровень без достоверных различий. В интермедиарной области регенерата (зоны IV, V, VI) отмечена разница в значениях только в зоне IV к периоду окончания фиксации, что косвенно подтверждается и данными морфологии.

Результаты морфометрической оценки площади, занимаемой сосудами в опытной и контрольной группах на всех сроках наблюдения представлены в таблицах 3.6 и 3.7.

Таблица 3.6. Площадь, занимаемая сосудами в контрольной группе (%),  $M \pm m$

Срок фиксации	1-е сутки	5-е сутки	15-е сутки	30-е сутки
I	$3,82 \pm 1,75$	$2,87 \pm 0,73$	$7,24 \pm 2,38$	$2,75 \pm 1,00$
II	$2,86 \pm 1,39$	$4,97 \pm 1,91$	$10,35 \pm 3,06$	$3,58 \pm 0,75$
III	$2,20 \pm 0,76$	$9,82 \pm 7,32$	$10,77 \pm 5,68$	$3,94 \pm 0,88$
IV	$9,05 \pm 4,21$	$6,74 \pm 1,19$	$9,09 \pm 0,97$	$7,52 \pm 2,09$
V	$17,17 \pm 9,12$	$5,98 \pm 1,05$	$11,69 \pm 1,86$	$7,55 \pm 1,46$
VI	$14,27 \pm 11,22$	$5,53 \pm 2,41$	$10,07 \pm 3,34$	$8,14 \pm 4,02$

Таблица 3.7. Площадь, занимаемая сосудами в опытной группе (%),  $M \pm m$ 

Срок фиксации	1-е сутки	5-е сутки	15-е сутки	30-е сутки
I	5,64±1,39	12,38±3,18	3,89±0,81	4,45±0,84
II	11,98±2,00	8,18±2,70	3,71±0,96	4,27±0,74
III	12,76±5,33	2,33±1,35	3,10±1,99	3,20±0,62
IV	8,70±2,47	9,77±2,54	5,66±1,34	9,94±2,14
V	11,83±2,93	8,43±2,03	2,72±0,55	9,57±1,93
VI	11,36±4,90	4,06±3,33	1,04±0,43	7,95±1,52

При оценке васкуляризации в зоне I отмечено, что площадь, занимаемая сосудами, в группах колебалась в пределах 3–11% без статистически значимых различий на всех сроках ( $p > 0,05$ ). Во II зоне показатели площади, занимаемой сосудами, на первичной фазе фиксации между группами не имели статистически значимой разницы ( $p > 0,05$ ). К середине периода фиксации во II зоне площадь, занимаемая сосудами, в контрольной группе увеличивалась ( $10,35 \pm 3,06$ ) и превышала показатели в опытной группе ( $3,71 \pm 0,96$ ) с достоверной разницей ( $t = 2,137$ ;  $p < 0,05$ ). К 30-м суткам во II зоне площадь, занимаемая сосудами в контрольной группе, уменьшалась по сравнению с предыдущим сроком, в обеих группах показатели находились в интервале 3–4% без значимых различий между группами ( $p > 0,05$ ).

В зоне III площадь, занимаемая сосудами, в контрольной группе в ходе периода фиксации повышается с 5-х суток периода фиксации ( $9,82 \pm 7,32$ ), сохраняясь на прежнем уровне к середине периода фиксации ( $10,77 \pm 5,68$ ), снижаясь к окончанию периода фиксации ( $3,94 \pm 0,88$ ). При этом в опытной группе показатель васкуляризации снижается с 1 суток ( $12,76 \pm 5,33$ ) к 5-м ( $2,33 \pm 1,35$ ) в 6 раз и в дальнейшие сроки фиксации практически не меняется ( $3,20 \pm 0,62$ ). К концу периода не выявлено значимого различия в показателях.

При морфометрической оценке васкуляризации в контрольной группе в зонах IV, V площадь, занимаемая сосудами, уменьшалась к 5-м суткам фиксации,

повышалась к 15-м суткам и снова снижалась к 30-м. В опытной группе в тех же зонах показатели снижались максимально к середине периода фиксации. Различия между группами в этих зонах на всех сроках фиксации статистически значимо отличаясь.

В VI зоне снижение васкуляризации в опытной группе ( $1,04 \pm 0,43$ ) было максимальным относительно контроля ( $10,07 \pm 3,34$ ) с достоверным различием ( $t=2,676$ ;  $p < 0,05$ ). Однако к концу периода фиксации показатели в этой зоне выравнивались, значимых различий между группами выявлено не было.

Таким образом, при морфометрической оценке площади, занимаемой сосудами в исследуемых зонах регенерата в опытной группе, имеет тенденцию к снижению, достигая минимума к середине периода фиксации, в контрольной группе тенденция имеет обратный вид (васкуляризация достигает максимума к середине периода фиксации). Значения площади сосудов выравниваются в обеих группах к окончанию периода фиксации.

### **3.3. Обсуждение результатов экспериментального исследования на животных.**

Апробация разработанной экспериментальной модели, имитирующей методику «удлинение поверх гвоздя» с сохранением аппарата в фазе фиксации как имитации блокирования показала однотипность в структуре формирования дистракционного регенерата при сравнении с моделью в которой выполнялся переход на внутреннюю фиксацию. При формировании идентичных по структуре регенератов, данная модель имеет ряд преимуществ:

1. Повторная операция при сохранении аппарата как имитации блокирования имеет минимальную длительность, в то время как при моделировании блокирования интрамедуллярного фиксатора более длительно по продолжительности ввиду сложности выполнения блокирования на небольшом участке костного фрагмента.

2. Сохранение аппарата внешней фиксации для имитации блокирования интрамедуллярного фиксатора значительно уменьшает травматичность операции,

не происходит дополнительной травматизации мягких тканей, нет риска перелома при выполнении блокирования.

3. Аппарат не препятствует нагрузке, животное хорошо опирается на оперированную конечность при передвижении, в то время как при использовании модели 1 имеется травматизм окружающих тканей от выступающих участков блокированных спиц.

Таким образом разработанная и апробированная экспериментальная модель может быть использована для оценки органотипической перестройки дистракционного регенерата при моделировании комбинированного чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что формирование полностью сформированных кортикальных пластинок происходит к окончанию периода фиксации как при удлинении по Илизарову, так и при моделировании методики УПГ. В ходе процесса органотипической перестройки регенерата в обеих группах, отмечается как эндостальный, так и периостальный остеогенез, происходит восстановление структур костного мозга. Но имеются отличия между группами в процессе формирования кортикальных пластинок. В контрольной группе кортикальные пластинки формируются преимущественно из интермедиарной области регенерата, отмечается активизация эндостального костеобразования. Схожие экспериментальные данные приводятся в литературе (Илизаров Г.А. с соавт., 1975; Ирьянов Ю.М. с соавт., 2007; Ерофеев С.А., 2014; Борзунов Д.Ю., 2016). Периостальный компонент выражен умеренно и к концу периода фиксации истончается. Васкуляризация в контрольной группе по данным морфометрии повышается, достигая максимума к середине периода фиксации.

В опытной группе показатели васкуляризации имеют тенденцию к снижению, достигая минимума к середине периода фиксации, что в свою очередь стимулирует активацию периостального костеобразования. При этом не отмечено отставания в сроках формирования кортикальных пластинок, при этом их образование происходит преимущественно за счет периостального остеогенеза, отличая этот процесс от контрольной группы удлинения по Илизарову. Активация

периостального остеогенеза при комбинированном методе удлинения отмечена и в других работах, посвященных тематике (Степанов М.А. с соавт., 2010; Еманов А.А. с соавт., 2013; Li G. et al., 1999; Fu F. et al., 2017). О более низких показателях васкуляризации в ходе экспериментальных исследований при моделировании методики УПГ отмечены в ряде других работ (Еманов А.А. с соавт., 2013, 2014; Ерофеев С.А., 2014; Bragdon B. et al., 2015). М.А. Степанов с соавт. (2010) также отмечают, что ухудшение эндостального кровоснабжения компенсаторно увеличивает уровень васкуляризации надкостницы.

Значимых отличий в группах не выявлено. Это позволяет заключить, что методика «удлинение поверх гвоздя» не оказывает негативного влияния на формирующуюся костную ткань, хоть и имеет особенности формирования в сравнении с формированием регенерата по Илизарову.

## ГЛАВА IV

РЕЗУЛЬТАТЫ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И  
ТЕХНИЧЕСКОЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ

В данной части диссертационного исследования представлены результаты выполнено стендового эксперимента. были обоснованы оптимальные компоновки для выполнения методики «удлинение поверх гвоздя» бедренной кости. В рамках биомеханического эксперимента на пластиковых костях была проведена сравнительная оценка жесткости к нагрузкам системы «аппарат-кость-интрамедуллярный фиксатор» на модели правой бедренной кости с использованием двух вариантов фиксации: с использованием только стандартных чрескостных элементов и с экстракортикальными фиксаторами. В дальнейшей части главы рассмотрено проведённое исследование для упрощения выполнения методики УПГ при ретроградном введении интрамедуллярного стержня на бедренной кости. Для этого был разработан оригинальный направитель позволяющий формировать точку ввода и проводить ограничивающие винты ориентирующе интрамедуллярный стержень в канале. Далее на пластиковой модели бедренной кости был проведен эксперимент по отработке рациональной техники применения указанного направителя, далее направитель апробирован в клинической практике.

**4.1. Результаты биомеханических исследований.****4.1.1. Результаты стендовых исследований компоновок аппаратов для удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня.**

Данные, полученные в ходе проведенного исследования на биомеханическом стенде представлены в таблицах 4.1 и 4.2.

Для всех исследованных экспериментальных моделей продольная жесткость превосходила значение жесткости эталонного модуля третьего порядка (МЗэ) и имела значения от  $76,4 \pm 2,1$  Н·мм/град (МЗ-анте-стЧЭ1) до  $116,3 \pm 6,7$  Н·мм/град (МЗ-ретро-стЧЭ2), при этом минимальная продольная жесткость превышала показатели МЗэ ( $55$  Н·мм/град) на  $38,9\%$  (рис 4.1.). Среди моделей с использованием только стандартных ЧЭ наибольшее значение было у МЗ-ретро-

стЧЭ2 ( $116,3 \pm 6,7$  Н·мм/град), а у моделей с экстракортикальными фиксаторами наибольшее значение было у М3-анте-ext1 ( $107,2 \pm 5,8$  Н·мм/град).

Таблица 4.1. Результаты исследований жесткости комбинированных модулей третьего порядка для антеградного введения стержня при УПГ бедренной кости ( $M \pm \sigma$ )

Жесткость остеосинтеза	М3-анте-стЧЭ1	М3-анте-стЧЭ2	М3-анте-ext1	М3-анте-ext2	М3э
Продольная жесткость, Н·мм/град (дистракция)	$76,4 \pm 2,1$	$85,7 \pm 4,5$	$102,9 \pm 6,4$	$94,1 \pm 9,4$	55
Продольная жесткость, Н·мм/град (компрессия)	$76,7 \pm 3,8$	$84,8 \pm 4,5$	$107,2 \pm 1,1$	$81,7 \pm 4,0$	55
Фронтальная жесткость, Н·мм/град (отведение)	$30,7 \pm 1,6$	$17,9 \pm 0,3$	$24,9 \pm 1,9$	$33,3 \pm 1,1$	24
Фронтальная жесткость, Н·мм/град (приведение)	$34,9 \pm 1,2$	$13,7 \pm 0,5$	$24,9 \pm 1,9$	$23,8 \pm 1,1$	24
Сагиттальная жесткость, Н·мм/град (сгибание)	$13,3 \pm 0,3$	$10,8 \pm 0,3$	$19,9 \pm 0,8$	$18,8 \pm 0,6$	11
Сагиттальная жесткость, Н·мм/град (разгибание)	$11,9 \pm 0,6$	$14,1 \pm 0,9$	$19,7 \pm 0,8$	$23,7 \pm 1,1$	11
Ротационная жесткость, Н·мм/град (наружная ротация)	$19,7 \pm 0,9$	$17,2 \pm 1,0$	$19,2 \pm 1,1$	$25,7 \pm 0,9$	14
Ротационная жесткость, Н·мм/град (внутренняя ротация)	$21,9 \pm 1,1$	$18,1 \pm 1,8$	$21,0 \pm 1,9$	$18,7 \pm 0,6$	14

Таблица 4.2. Результаты исследований жесткости комбинированных модулей третьего порядка для ретроградного введения стержня при УПГ бедренной кости ( $M \pm \sigma$ ) ( $M \pm \sigma$ )

Жесткость остеосинтеза	М3-ретро-стЧЭ1	М3-ретро-стЧЭ2	М3-ретро-ext1	М3-ретро-ext2	М3э
Продольная жесткость, Н·мм/град (дистракция)	112,0±2,5	116,3±6,7	90,7±2,5	108,6±7,0	55
Продольная жесткость, Н·мм/град (компрессия)	81,7±2,4	115,7±5,7	90,0±2,0	100,5±5,7	55
Фронтальная жесткость, Н·мм/град (отведение)	30,1±0,8	27,3±1,1	48,8±2,6	49,9±2,8	24
Фронтальная жесткость, Н·мм/град (приведение)	30,6±1,3	27,3±1,1	46,3±2,0	47,6±1,6	24
Сагиттальная жесткость, Н·мм/град (сгибание)	14,9±0,4	11,7±0,8	32,6±1,2	31,7±1,7	11
Сагиттальная жесткость, Н·мм/град (разгибание)	23,0±2,1	13,7±0,8	47,0±1,2	30,7±1,9	11
Ротационная жесткость, Н·мм/град (наружная ротация)	12,9±1,4	13,2±1,0	23,8±1,4	25,0±2,0	14
Ротационная жесткость, Н·мм/град (внутренняя ротация)	10,6±0,4	13,8±1,0	24,1±1,7	24,5±1,8	14

При моделировании нагрузок во фронтальной плоскости только одна из исследуемых моделей, разработанная для антеградного введения интрамедуллярного стержня с использованием традиционных чрескостных элементов М3-анте-стЧЭ2, достоверно ( $p < 0,05$ ) не превышает показатели эталонного модуля при отведении и приведении ( $17,9 \pm 1,8$  Н·мм/град и  $13,7 \pm 0,5$  Н·мм/град соответственно). М3-анте-ext2 имел значение жесткости  $23,8 \pm 1,1$



Н·мм/град при приведении, уступая значению МЗэ на 1%. Все прочие модули превышали значение показателя эталонного от 4 до 108%. Среди моделей, разработанных с использованием только стандартных чрескостных элементов, наибольшей жесткостью обладает модель МЗ-анте-стЧЭ2 ( $34,9 \pm 1,2$  Н·мм/град). Среди моделей с использованием экстракортикальных фиксаторов, наибольшей жесткостью обладает МЗ-ретро-ext2 —  $49,9 \pm 2,8$  Н·мм/град. Он же показывал лучшие результаты среди всех моделей (рис.4.2.).

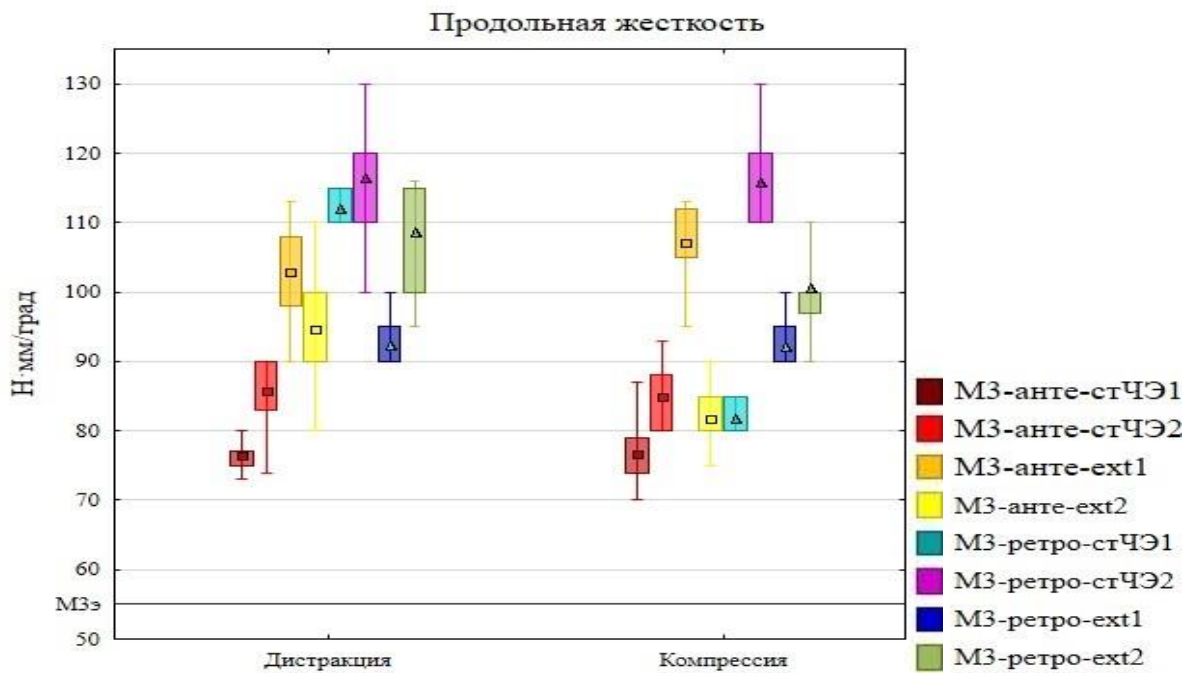


Рис. 4.1. Результаты исследования продольной жесткости остеосинтеза.

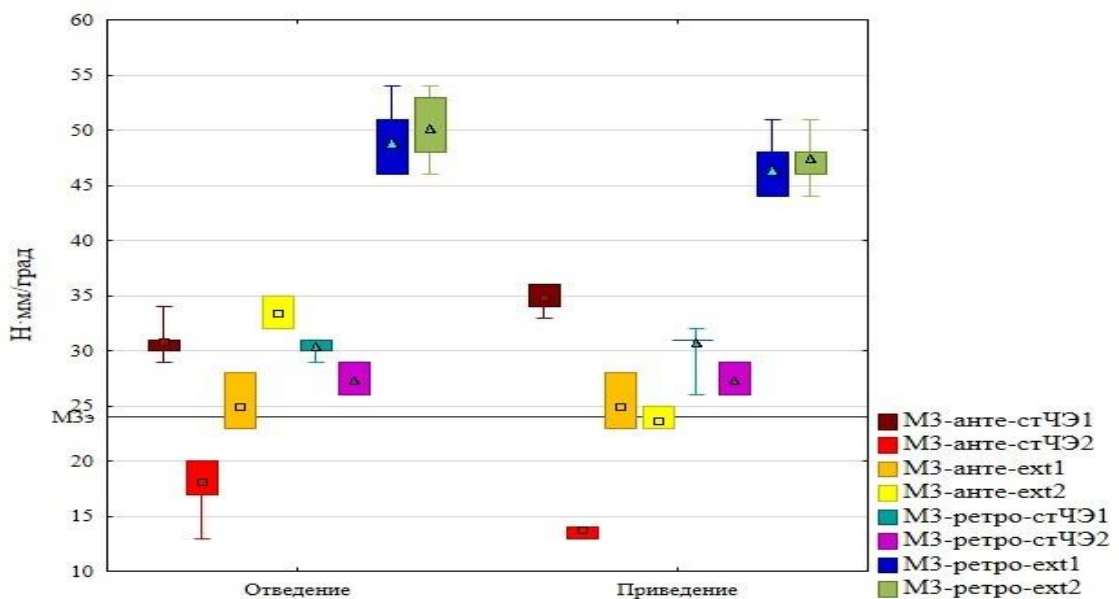


Рис. 4.2. Результаты исследования жесткости в фронтальной плоскости

При исследовании жесткости в сагиттальной плоскости только МЗ-анте-стЧЭ2 уступал значению эталонного модуля на 2,1% и составил  $10,8 \pm 0,3$  Н·мм/град при исследовании «сгибания». Из моделей, разработанных для антеградного введения, наибольшей жесткостью обладают модели с использованием экстракортикальных фиксаторов, максимальное значение жесткости среди которых было у МЗ-анте-ext2 ( $23,7 \pm 1,1$  Н·мм/град). В исследуемых моделях для ретроградного введения интрамедуллярного стержня значение жесткости для модели МЗ-ретро-ext1 было максимальным при «разгибании» —  $47,0 \pm 1,2$  Н·мм/град. Среди моделей, разработанных с использованием только стандартных чрескостных элементов, наибольшей жесткостью обладает МЗ-ретро-стЧЭ1 —  $23,0 \pm 2,1$  Н·мм/град. Все модели с использованием экстракортикальных фиксаторов показали большую жесткость при нагрузках в сагиттальной плоскости (рис.4.3.).

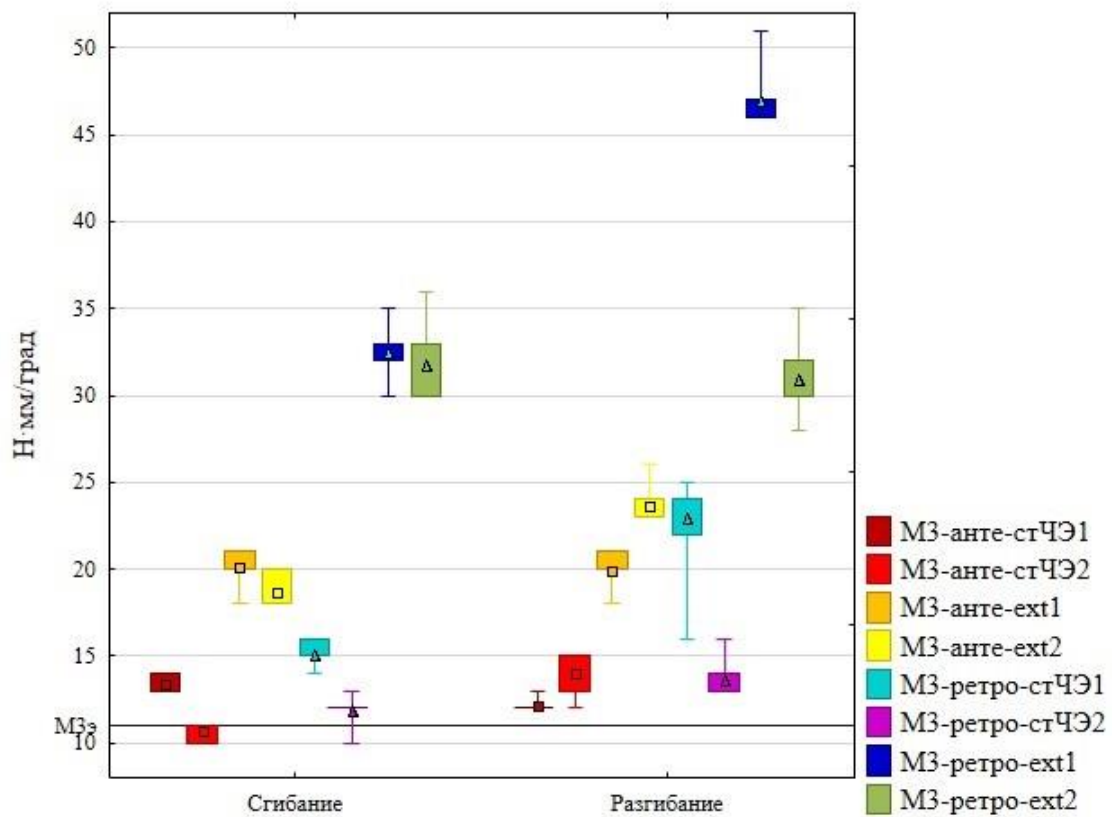


Рис. 4.3. Результаты исследования жесткости в сагиттальной плоскости.

Исследование жесткости при трансверсальной плоскости показало, что исследуемые модели для ретроградного комбинированного остеосинтеза на основе стандартных чрескостных элементов уступают значению жесткости эталонного модуля. Наименьшим показателем обладает МЗ-ретро-стЧЭ1 ( $10,6 \pm 0,4$  Н·мм/град). При использовании экстракортикальных фиксаторов модели как для антеградного, так и для ретроградного остеосинтеза обладали более высокой жесткостью по сравнению с моделями со стандартными чрескостными элементами. Максимальное значение было у модуля МЗ-анте-ext2 и составило  $25,7 \pm 0,9$  Н·мм/град. Среди моделей с использованием традиционных чрескостных элементов максимальное значение было у модуля МЗ-анте-стЧЭ1 и составило  $21,9 \pm 1,1$  Н·мм/град. (рис.4.4.).

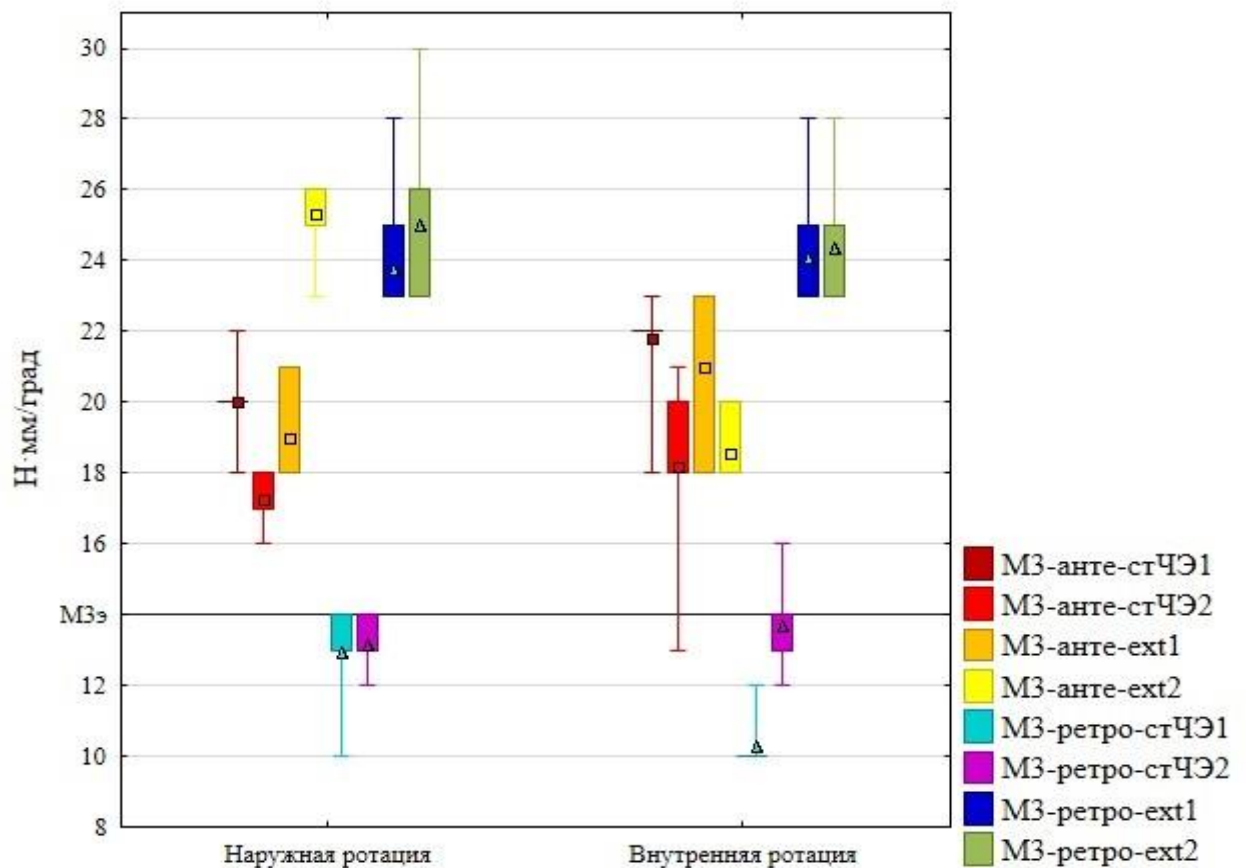


Рис.4.4. Результаты исследования жесткости остеосинтеза при ротации.

По данным Ф.К. Сабирова (2016) при выполнении остеотомии в средней трети диафиза использование компоновки аппарата из 2-х модулей на основе четырех ЭФ, расположенных на расстоянии 10 см под углом  $60^\circ$  в каждом из модулей показали

наиболее высокие показатели жесткости среди исследуемых. Данная компоновка по сравнению с эталонным модулем показала превышение продольной жесткости на 92,7%, жесткости во фронтальной плоскости на 193,8%, ротационной жесткости на 318%, жесткости в сагиттальной плоскости на 194,5%.

#### **4.1.2. Сравнение результатов двух серий биомеханического эксперимента.**

Для удлинения бедренной кости в средней трети диафиза полная компоновка аппарата (М3) может быть обеспечена двумя оптимальными по жесткости М2 на основе 2-х экстракортикальных фиксаторов с достаточным расстоянием между ними. Таким образом, при выполнении остеотомии в средней трети диафиза бедра нет сложности в обеспечении достаточной жесткости модулей 3 порядка. Чаще в клинике требуется выполнение остеотомии на границе верхней и средней трети, или на границе средней и нижней трети. В первом варианте используется антеградная методика проведения интрамедуллярного стержня. Только одна из исследуемых моделей для комбинированного антеградного остеосинтеза с использованием традиционных ЧЭ (М3-анте-стЧЭ2) не смогла обеспечить жесткость, сопоставимую со значениями М3э, по всем показателям, кроме продольной жесткости. Компоновки для комбинированного антеградного остеосинтеза в целом уступали в жесткости, кроме продольной, ретроградным, что можно связать с более технически сложной тангенциальной установкой ЧЭ в проксимальном отделе бедренной кости из-за наличия стержня в канале. Все модели с ЭФ для антеградной методики превышали жесткость по сравнению с традиционными ЧЭ по всем показателям до 1,5 раз. При остеотомии на уровне дистальной трети диафиза необходима компоновка с ретроградным введением стержня. При оценке жесткости во всех сериях исследований модули для ретроградного комбинированного остеосинтеза с использованием ЭФ имели наиболее высокие показатели жесткости по сравнению с остальными моделями. Ретроградные компоновки моделей на основе стандартных ЧЭ не обеспечивали необходимую жесткость при ротационных нагрузках, при использовании ЭФ жесткость остеосинтеза повышалась в 1,5–2 раза. Ретроградные компоновки более

удобны и просты в выполнении, так как ЧЭ в проксимальном отделе вводятся над стержнем. Также ретроградные компоновки дают больше пространства для установки ЭФ, а на уровне проксимального фрагмента кости позволяют расположить их на необходимом расстоянии в 10 см друг от друга с углом перекреста в  $60^\circ$ , обеспечивающие наибольшую жесткость (патент РФ на изобретение № 2584555 «способ удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня»).

Именно модули с использованием экстракортикальных фиксаторов могут быть рекомендованы для реализации методики «удлинения бедренной кости поверх гвоздя», а ретроградные компоновки в этом плане более удобны и обеспечивают наибольшую жесткость.

#### **4.2. Разработка и применение универсального направителя для позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов.**

При коррекции посттравматических или врожденных деформаций использование ограничивающих винтов при интрамедуллярном блокируемом остеосинтезе позволяет улучшить контроль за положением инструментария при подготовке канала в дистальном фрагменте и исключить потерю коррекции деформации при введении интрамедуллярного стержня (Fragomen A.T., et al., 2017). В случаях одновременной коррекции угловой деформации перед удлинением ограничивающие винты эффективно помогают выполнить одномоментное устранение угловой деформации и предотвратить вторичную деформацию по мере удлинения (Muthusamy S. et al., 2016). В настоящее время при установке ограничивающих винтов или спиц используется техника “свободной руки” (Dabash S. et al., 2019). В качестве вспомогательных приспособлений могут использоваться металлические или рентген-негативные направляющие втулки.

В качестве прототипа для разработки универсального устройства направителя нами выбрано устройство для ориентации ограничивающих винтов фирмы Smith&Nephew (патент Европейского союза № EP 1 850 763 B1). Оно состоит из

скользящей рамы, фиксирующейся к канюлированному шилу (рис. 4.5 а), вводимому при формировании точки ввода или стандартной блокирующей рамке дистального направлятеля (рис. 4.5 б), для ретроградного бедренного стержня Trigen Meta-Nail производства фирмы Smith&Nephew. Само приспособление представляет собой рентген-негативную рамку в которую могут устанавливаться втулки для установки блокирующих винтов. Недостатками данного устройства являются: возможность его использования только с фирменным инструментарием для установки стержней Trigen Meta-Nail фирмы Smith&Nephew; зависимость положения ограничивающих винтов от точки введения инструмента при формировании канала, которая определяется методом «свободной руки» под рентген-контролем. Любая некорректность при определении точки введения стержня или смещение инструментария, на котором фиксируется направлятель, при удержании его рукой приведет к некорректному положению поллерных винтов.

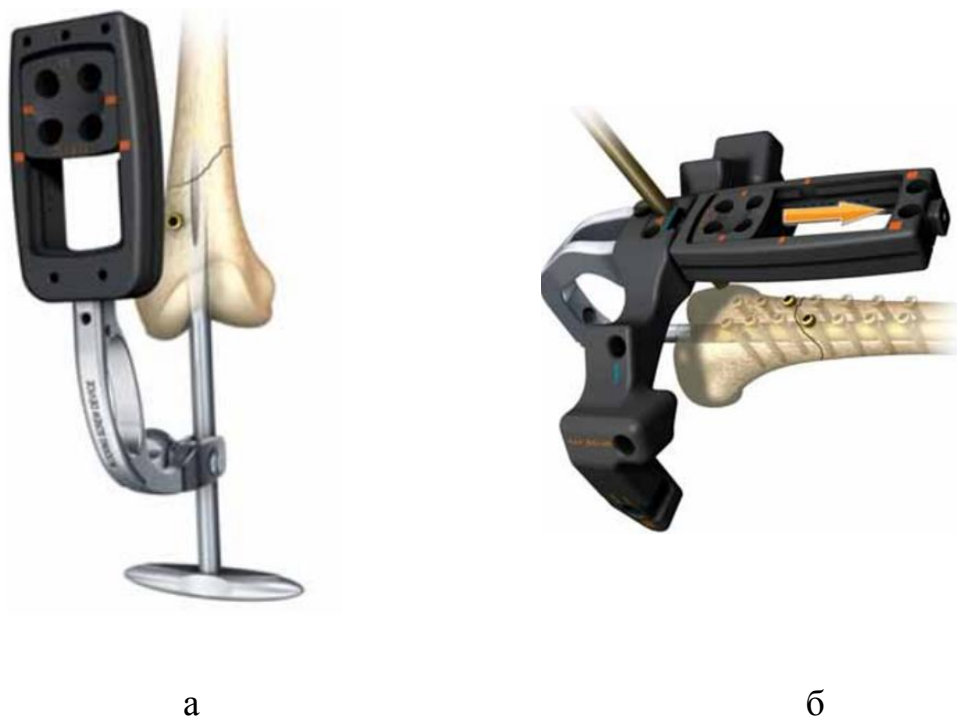


Рис. 4.5. а - устройство для ограничивающих винтов фирмы Smith&Nephew установленный на канюлированное шило во фронтальной плоскости; б - вкладка для рамы дистального блокирования для проведения ограничивающих винтов фирмы Smith&Nephew установленный на раму дистального блокирования во фронтальной плоскости.

#### 4.2.1. Общее описание направителя.

Для упрощения выполнения методики УПГ при ретроградном введении интрамедуллярного стержня, особенно при наличии дополнительных компонентов деформации, нами предложено универсальное устройство для обеспечения точного позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов (рис. 4.5.), обеспечивающих точное позиционирование интрамедуллярного стержня по анатомической оси дистального фрагмента бедренной кости.

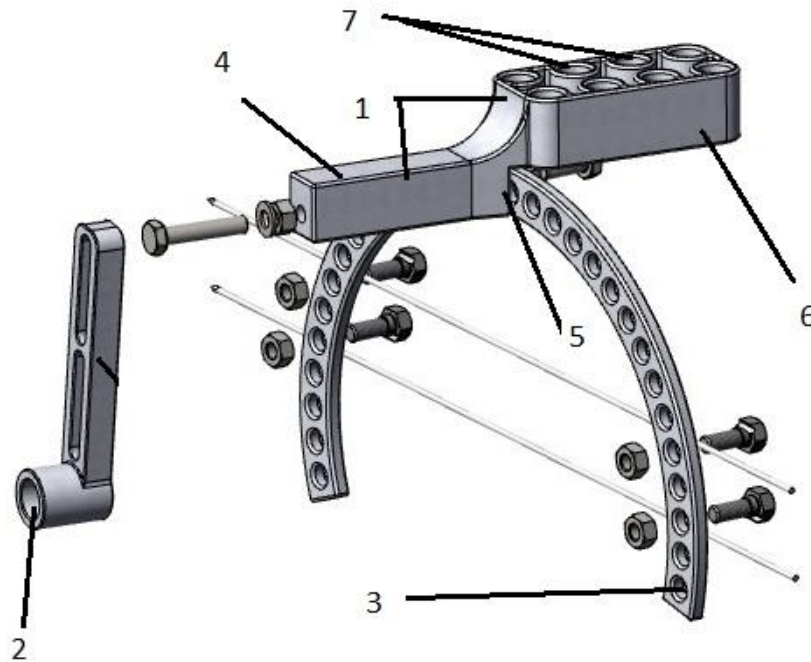


Рис. 4.5. Общая схема устройства. Обозначение: 1 - рама-направитель; 2- консольный направитель; 3- опора-ориентир; 4 — базовая часть; 5 - фиксирующий паз; 6 — кондукторная ветвь; 7 — кондукторные каналы.

Универсальное устройство для обеспечения точного позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов выполнено из порошкового материала белого цвета на базе полиамида — PA 2200 производства фирмы EOS (Германия) и изготовлено методом 3D печати. Материал обеспечивает полученному устройству рентген-прозрачность (рис. 4.6.).



Рис. 4.6. Рентгенограмма устройства направителя.

Для первоначальной ориентации устройства используется опору-ориентир - стандартная опора 5/8 кольца из набора конструкций аппарата Илизарова, к которой оно фиксируется стандартным болтом М6. Опора-ориентир устанавливается в дистальном отделе бедренной кости параллельно суставной поверхности коленного сустава, используются 2 спицы диаметром 1,8 или 2 мм (Рис. 4.7.).

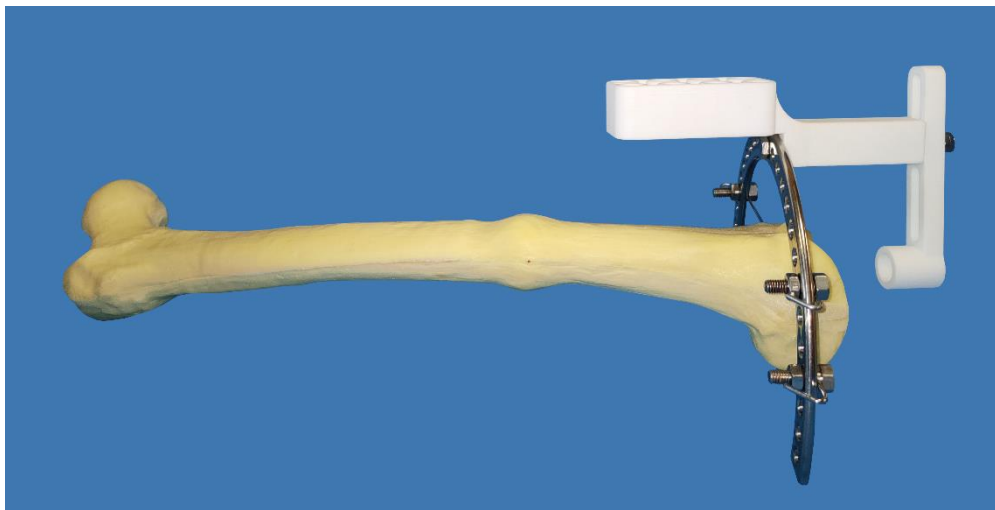


Рис. 4.7. Внешний вид опоры-ориентира с установленным направителем.

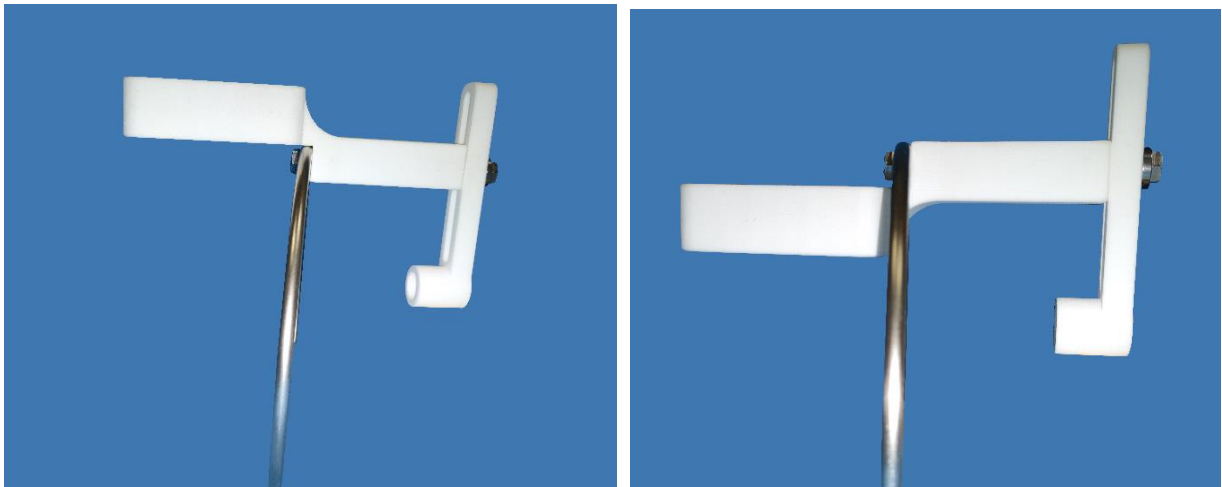
Базовая часть рамы-направителя имеет паз для фиксации к опоре ориентиру, с заданным в конструкции углом в  $9^\circ$  от перпендикуляра к последней (рис. 4.8.). Мо-



жет быть использована как для правой, так и для левой бедренной кости (ориентация меняется поворотом направлятеля на  $180^{\circ}$  в сагиттальной плоскости при фиксации к опоре-ориентире) (рис.4.9.).



Рис. 4.8. Опора-ориентир во фронтальной плоскости.



а

б

Рис. 4.9. Вид опоры ориентира: а- для правой бедренной кости; б- для левой бедренной кости.

Проксимальное место крепления рама-направитель имеет кондукторную ветвь с двумя рядами из 4-х кондукторных каналов для проведения ограничивающих (поллерных) винтов. Диаметр каналов позволяет использовать для установки винтов стандартные втулки с внешним диаметром 11 мм, что соответствует диаметру внешней втулки для установки блокирующих винтов большинства производителей

интрамедуллярных бедренных стержней, представленных на рынке. Расстояние между центрами отверстий равно 20 мм, что позволяет без конфликта провести между ограничивающими винтами основание (головку) стержня (диаметр 12 мм). Так как кондукторная ветвь во фронтальной плоскости также ориентирована под углом  $9^\circ$  от перпендикуляра к опоре-ориентире, т. е. по анатомической оси бедренной кости, что обеспечивает установку винтов вдоль анатомической оси на заданном расстоянии. Ограничивающие винты проводятся перпендикулярно фронтальной плоскости (рис.4.10.)

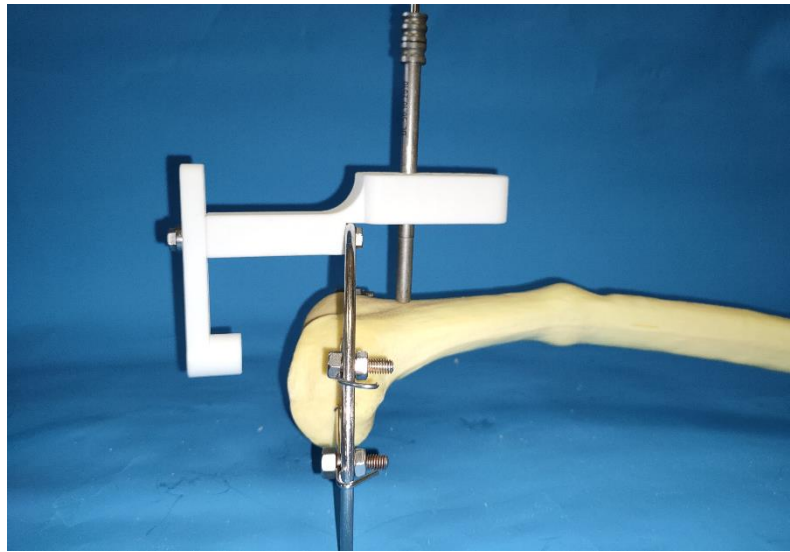


Рис. 4.11. Ориентация ограничивающих винтов в сагитальной плоскости.

С противоположной стороны к базовой части рамы-направителя фиксируется при помощи болта М6 консольный направитель, имеющий кондукторный канал под втулку для формирования точки ввода стержня. Имеющиеся прорези позволяют установить необходимый уровень расположения кондукторного канала в сагитальной плоскости. Диаметр кондукторного канала 13 мм позволяет использовать для формирования точки ввода канюлированное шило диаметром 12 мм (рис. 4.11.).



Рис. 4.11. Консольный направитель для формирования точки ввода.

**4.2.2. Техника применения универсального направителя для позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов, способ его применения.**

Технику применения методики направителя отработали на пластиковых моделях бедренной кости (производства ООО «Персей», СПб, Россия).

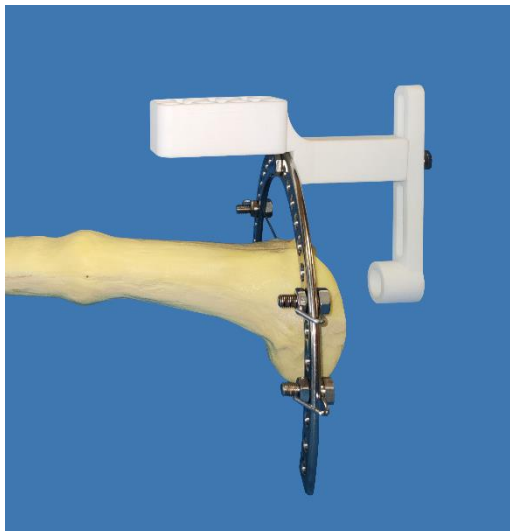
Использование устройства начинают с проведения под ЭОП-контролем 2,0 мм спицы вблизи от передней или задней кортикальной стенки бедренной кости в метафизарной зоне дистального отдела бедра на расстоянии 2–3 см от суставной линии мышечков бедренной кости в коленном суставе и параллельно ей (рис. 4.12.).



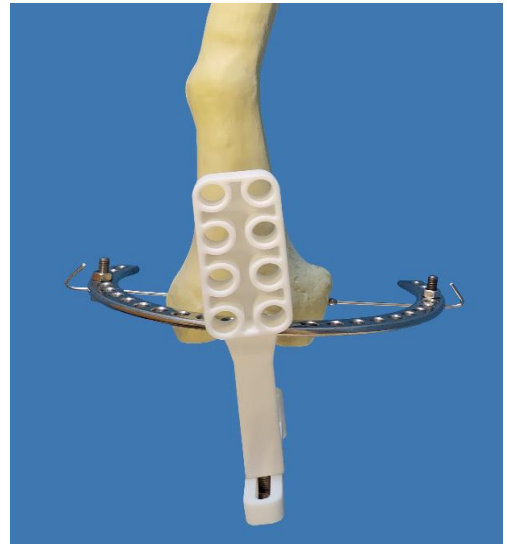
Рис. 4.12. Проведение спицы в дистальном отделе бедренной кости.

Спицу фиксируют и натягивают спицнатягивателем в стандартной опоре 5/8 кольца аппарата Илизарова, диаметр опоры зависит от объема мягких тканей. Далее опору ориентируют в сагитальной плоскости перпендикулярно анатомической оси дистальной трети бедренной кости и в ней проводится вторая

спица 2,0 мм в близости от кортикальной пластинки, противоположной от первой спицы, что позволяет оставить свободным канал бедренной кости. На опору фиксируется устройство таким образом, чтобы базовая часть рамы-направителя проецировалась во фронтальной плоскости на медиальное межмышечковое возвышение. Таким образом всю конструкцию рамы-направителя ориентируют по анатомической оси бедренной кости (рис. 4.13.).



а



б

Рис. 4.13. Модель бедренной кости с установленной опорой-ориентиром (проведены и натянуты 2 спицы) и установленным на ней устройством-направителем: а - вид во фронтальной плоскости; б - вид в сагитальной плоскости.

Консольный направитель для формирования точки ввода устанавливается в пазе таким образом, чтобы его кондукторный канал был ориентирован в сагиттальной плоскости между спицами опоры-ориентира. Таким образом опора-ориентир обеспечивает правильную позицию устройства в сагиттальной плоскости, а проведенные спицы уже являются ограничивающими (поллерными) элементами (рис. 4.14.).

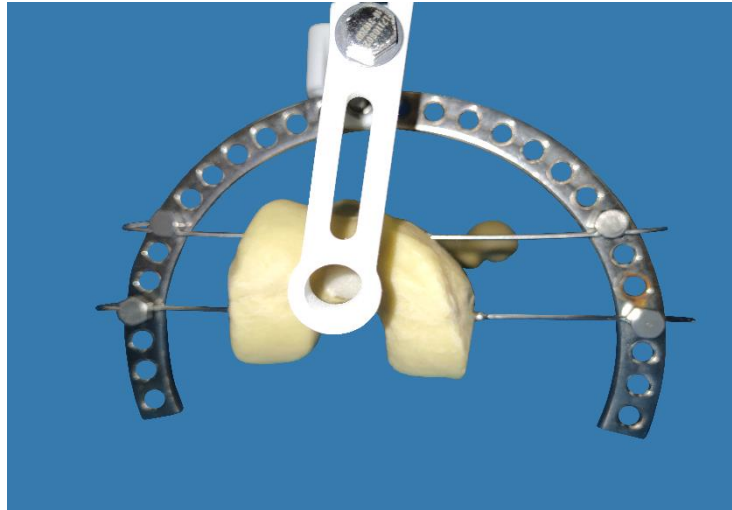


Рис. 4.14. Модель бедренной кости с установленной опорой-ориентиром и консольным направителем для формирования точки ввода.

После установки направителя выполняется стандартный доступ по передней поверхности коленного сустава с рассечением связки надколенника. Через кондукторный канал консольного направителя проводится прямое канюлированное шило и производится вскрытие костномозгового канала в строго заданном направлении по анатомической оси дистального фрагмента, или может быть произведено рассверливание по направляющей втулке (рис. 4.15.).

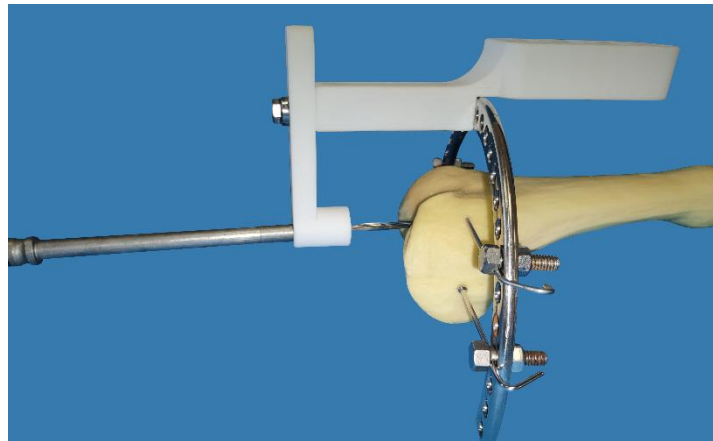


Рис. 4.15. Вскрытие канала модели бедренной кости с установленной опорой-ориентиром и консольным направителем для формирования точки ввода.

В костномозговой канал устанавливается проводник (рис. 4.16.). Далее, используя кондукторные каналы рамы-направителя, производят рассверливание

под ограничивающие винты при помощи стандартного сверла и втулок для него из используемого установочного инструментария (рис. 4.17.).

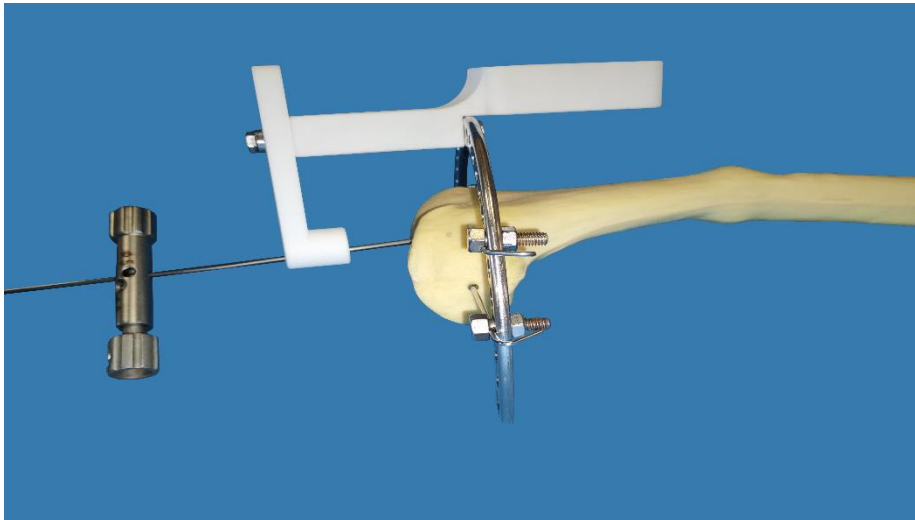
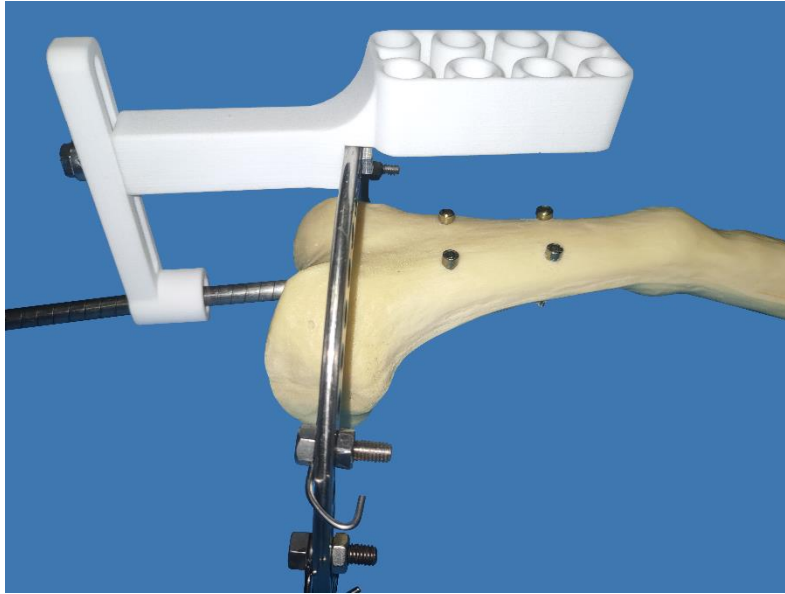


Рис. 4.16. Модель бедренной кости с установленным проводником.



Рис. 4.17. Рассверливание для проведения поллерного винта.

После проведения необходимого количества ограничивающих винтов выполняют римирирование для подготовки костномозгового канала дистального фрагмента, используя кондукторный канал консольного направителя (рис. 4.18.).



#### 4.18. Рассверливание канала бедренной кости.

После этого производят остеотомию бедренной кости (рис. 4.19.), проводник вводят в проксимальный фрагмент и выполняют ригирование проксимального фрагмента. Далее производят установку интрамедуллярного стержня (рис. 4.20.).



Рис. 4.19. Остеотомия бедренной кости



Рис. 4.20. Установка интрамедуллярного стержня.

#### 4.2.3. Резюме.

Устройство-направитель, состоящее из рамы-направителя для ограничивающих винтов и консольного направителя для точного позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня фиксируется на дистальном костном фрагменте при помощи стандартных 2-мм спиц, проведенных во фронтальной плоскости параллельно суставной поверхности коленного сустава. Заданный в конструкции рамы-направителя угол в  $9^\circ$  от перпендикуляра к опорно-ориентире, которая устанавливается параллельно суставной поверхности коленного сустава, позволяет сформировать канал для стержня строго по анатомической оси бедренной кости и провести ограничивающие (поллерные) винты вдоль анатомической оси на заданном расстоянии. Также установлено, что наиболее важно при установке универсального направителя является центрация положения направителя относительно анатомической оси бедренной кости на уровне суставной поверхности коленного сустава. Усовершенствование конструкции с целью устранения технической особенности изложено в разделе 5.2 после оценки клинической апробации.



## ГЛАВА 5

### ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ УДЛИНЕНИЯ ДЛИННЫХ КОСТЕЙ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПО ИЛИЗАРОВУ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ «УДЛИНЕНИЕ ПОВЕРХ ГВОЗДЯ»

В данной главе представлены результаты клинической части диссертационного исследования. В ходе проведения клинических исследований нами были произведены оценка и анализ динамики ближайших и среднесрочных результатов лечения пациентов первой (основной) клинической группы, оценка и анализ отдаленных функциональных результатов лечения пациентов второй клинической группы (сравнения), а также сравнительный анализ полученных данных в двух наших группах. В первую клиническую группу были включены пациенты с укорочением длинных костей нижних конечностей различной этиологии, которым было выполнено удлинение с использованием методики «удлинение поверх гвоздя». Во вторую группу вошли пациенты с укорочениями, которым было выполнено удлинение по Илизарову.

#### **5.1. Сравнительная оценка лечения в клинических группах при удлинении длинных костей нижних конечностей по Илизарову и при применении методики «удлинение поверх гвоздя»**

##### **5.1.1. Сравнительная оценка периодов и длительности лечения в клинических группах.**

В таблице 5.1 представлены данные периодов чрескостного остеосинтеза и консолидации, а также индексы фиксации, чрескостного остеосинтеза и консолидации в исследуемых клинических группах. Величина удлинения во всех клинических группах была сопоставима и не имела значимых отличий ( $p > 0,05$ ) между группами была в пределах 40–47 мм. Период distraction в группе УПГ для бедренной кости составил  $54,76 \pm 4,5$  дней и не имел значимых отличий ( $p > 0,05$ ) от Группы ЧО, где он составлял  $63,0 \pm 3,1$  дней. При удлинении голени в группе 1

период distraction составил  $50,1 \pm 3,9$  дней и также не имел значимых отличий ( $p > 0,05$ ) от группы 2 ( $55,7 \pm 4,9$  дней). В группе 1 у 26 пациентов сразу по окончании distraction в трехдневный срок было выполнено окончательное блокирование стержня и демонтаж АВФ. У 33 пациентов был вынужденный период фиксации от 5 до 218 дней. В группе 1 период фиксации составил  $21,27 \pm 6,8$  и  $26 \pm 6,9$  для бедра и голени соответственно, что было ниже, чем в группе ЧО в среднем в 10 раз ( $228,7 \pm 27,5$  и  $270,9 \pm 21,5$  для бедра и голени соответственно).

Таблица 5.1. Характеристика пациентов по величине удлинения, периодах distraction и фиксации.

Группа	Группа 1 (УПГ)		Группа 2 (ЧО)	
	бедро	голень	бедро	голень
Кол-во случаев	37	22	44	36
Величина удлинения (мм)	$42,4 \pm 2,3$	$40,0 \pm 2,2$	$47,2 \pm 2,0$	$41,6 \pm 2,2$
ПД (дней)	$54,76 \pm 4,5$	$50,1 \pm 3,9$	$63,0 \pm 3,1$	$55,7 \pm 4,9$
ПФ (дней)	$21,27 \pm 6,8$	$26 \pm 6,9$	$228,7 \pm 27,5$	$270,9 \pm 21,5$
ИФ (дней/см)	-	-	$50,1 \pm 5,8$	$68,4 \pm 5,6$
ПЧО (дней)	$85,2 \pm 8,8$	$82,9 \pm 7,9$	$295,9 \pm 28,1$	$327,3 \pm 6,2$
ИЧО (дней/см)	$17,8 \pm 1,2$	$23,9 \pm 2,4$	$65,0 \pm 6,1$	$82,2 \pm 6,2$
Период консолидации (дней)	$223,8 \pm 13,2$	$202,2 \pm 16,6$	$295,9 \pm 28,1$	$327,3 \pm 6,2$
Индекс консолидации (дней/см)	$55,1 \pm 2,7$	$54,4 \pm 3,7$	$65,0 \pm 6,1$	$82,2 \pm 6,2$

В группе УПГ укорочение устранено полностью в 37 случаях, в 11 случаях сохранялось укорочение до 2 см, которое при необходимости компенсировалось стельками в обувь. В 11 случаях пациентам требовались следующие этапы удлинения конечности. В группе ЧО укорочение полностью устранено у 68 пациентов, в пяти случаях сохранялось укорочение в пределах 2 см, семи пациентам требовался дополнительный этап удлинения. Индекс фиксации в группе ЧО составил  $50,1 \pm 5,8$  дней/см для бедренной кости и  $68,4 \pm 5,6$  дней/см для голени. Период чрескостного остеосинтеза в группе 1 составил  $85,2 \pm 8,8$  дней для бедренной кости и  $82,9 \pm 7,9$  дней для голени и был в среднем на 3,7 раза меньше ( $p < 0,05$ ), чем в группе 2 -  $295,9 \pm 28,1$  дней для бедренной кости и  $327,3 \pm 6,2$  дней

для голени. Индекс чрескостного остеосинтеза в группе УПГ был в 3,6 раза меньше, чем в группе ЧО ( $p < 0,05$ ).

В группе ЧО период консолидации и индекс консолидации имел схожие значения с периодом чрескостного остеосинтеза и индексом чрескостного остеосинтеза. В группе УПГ период консолидации составил  $223,8 \pm 13,2$  дней для бедренной кости и  $202,2 \pm 16,6$  дней для голени и был на 25–37% меньше ( $p < 0,05$ ) периода консолидации в группе ЧО ( $295,9 \pm 28,1$  дней и  $327,3 \pm 6,2$  дней для бедра и голени соответственно). Схожие соотношения были и при оценке индекса консолидации:  $55,1 \pm 2,7$  дней/см для бедра и  $54,4 \pm 3,7$  дней/см для голени в группе 1 и  $65,0 \pm 6,1$  дней/см для бедра и  $82,2 \pm 6,2$  дней/см для голени в группе 2 ( $p < 0,05$ ).

### **5.1.2. Сравнительная оценка результатов коррекции по рентгенологическим данным.**

В ходе рентгенологической оценки нами учитывались только показатели референтных углов во фронтальной плоскости (прямая рентгенологическая проекция), так как в клиническую выборку включались только пациенты с наличием только одного превалирующего компонента деформации, а именно укорочения. Также допускался наличие одного дополнительного компонента во фронтальной плоскости, устранение которого было возможно одномоментно в ходе первого оперативного вмешательства. Пациенты с наличием деформации в сагиттальной плоскости (боковой проекции) из выборки пациентов исключались, ввиду высокого риска возникновения конфликта интрамедуллярного фиксатора со стенками костномозгового канала даже при устранении деформации в сагиттальной плоскости в ходе продолжающегося удлинения. Результаты, полученные в ходе оценки рентгенограмм до и после проведенного лечения представлены в таблице 5.2.

У 3 пациентов удлинение проводилось на первом этапе лечения, а окончательная коррекция деформации проксимального отдела бедра планировалась в ходе выполнения эндопротезирования тазобедренного сустава. По результатам оценки рентгенограмм девиация механической оси у этих пациентов

выходила из референтного интервала (9,10 мм варусные девиации и 15 мм вальгусная девиация), что было связано с сохранением деформации в проксимальном отделе бедренной кости.

Таблица 5.2. Референтные значения до и после коррекции.

Показатели	Значение до лечения		Значение после лечения		Норма
	Группа 1	Группа 2	Группа 1	Группа 2	
мЛПБУ	89,89±1,22	91,41±1,19	92,67±2,82	92,0±0,88	90 (85–95)
мЛДБУ	89,32±1,44	86,0±0,59	88,86±0,38	87,0±0,47	88 (85–90)
мМПББУ	90,25±0,84	90,0±0,47	88,68±0,63	87,47±0,31	87 (85–90)
мЛДББУ	84,61±4,11	90,0±1,11	89,36±0,46	88,87±0,82	89 (86–92)
ДМО	12,29±1,21	15,0±0,94	3,18±0,76	5,83±1,01	4,1±4,0

мЛПБУ – механический латеральный проксимальный бедренный угол; мЛДБУ – механический латеральный дистальный бедренный угол; мМПББУ – механический медиальный большеберцовый угол; мЛДББУ – механический латеральный дистальный большеберцовый угол; ДМО – девиация механической оси.

В группе 2 девиация механической оси вне референтного интервала после проведенного лечения была в 6-ти случаях (все отклонения варусные), эти пациенты нуждались в дополнительных этапах удлинения. Окончательная коррекция планировалась на последний этап удлинения. Согласно полученным данным, значения изучаемых нами референтных углов бедренной кости и большеберцовой кости в генеральной совокупности не выходили за пределы референтного интервала (по всем анализируемым параметрам значение  $p < 0,05$ ).

*Клинический пример №1 – удлинение поверх гвоздя бедренной кости.*

Пациентка Б., 23 года, была госпитализирована в 7 отд. РНИИТО им. Р.Р.Вредена в 2010 г. В анамнезе: последствия перенесенного гематогенного остеомиелита проксимального отдела бедренной кости, деформация проксимального отдела левой бедренной кости, посттравматический левосторонний коксартроз III ст., укорочение левой бедренной кости 5 см, функция

коленного сустава удовлетворительная (рис.5.1). Выполнено оперативное вмешательство по методике удлинение поверх гвоздя по методике, описанной в разделе 2.4.3 с использованием экстракортикальных фиксаторов и компоновки аппарата, разработанной согласно патенту РФ на изобретение № 2584555. Дистракция в течение 44 дней. По окончании удлинения достигнута необходимая длина регенерата, функция коленного сустава ограничена опорой аппарата внешней фиксации (рис.5.2). Сразу же после окончания дистракции выполнен второй этап: проксимальное блокирование стержня, демонтаж аппарата внешней фиксации (рис.5.3). По результатам телерентгенограмм механическая ось конечности смещена кнаружи, но обусловлено это в первую очередь деформацией проксимального отдела бедренной кости. Осложнений в ходе лечения не было. Через 6 месяцев функция коленного сустава восстановлена полностью, через год после демонтажа АВФ отмечена завершенная перестройка дистракционного регенерата (рис. 5.4).

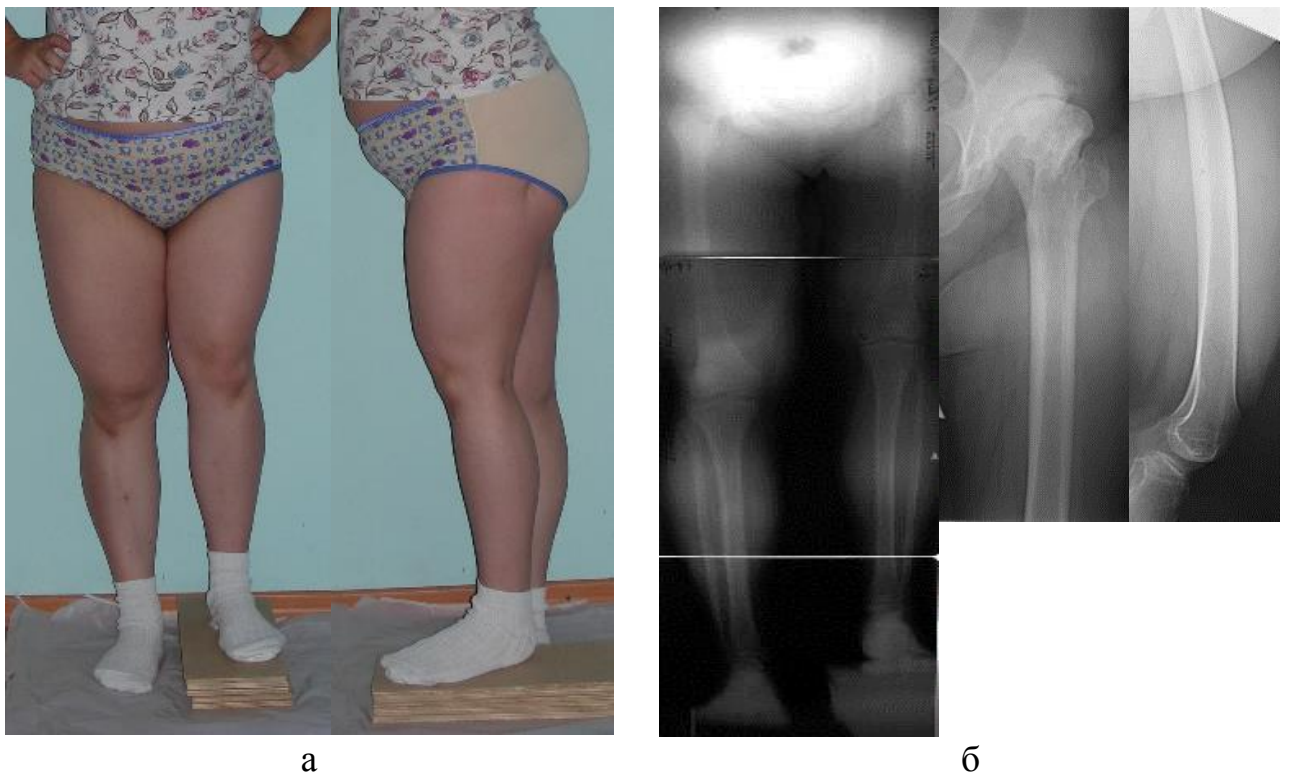
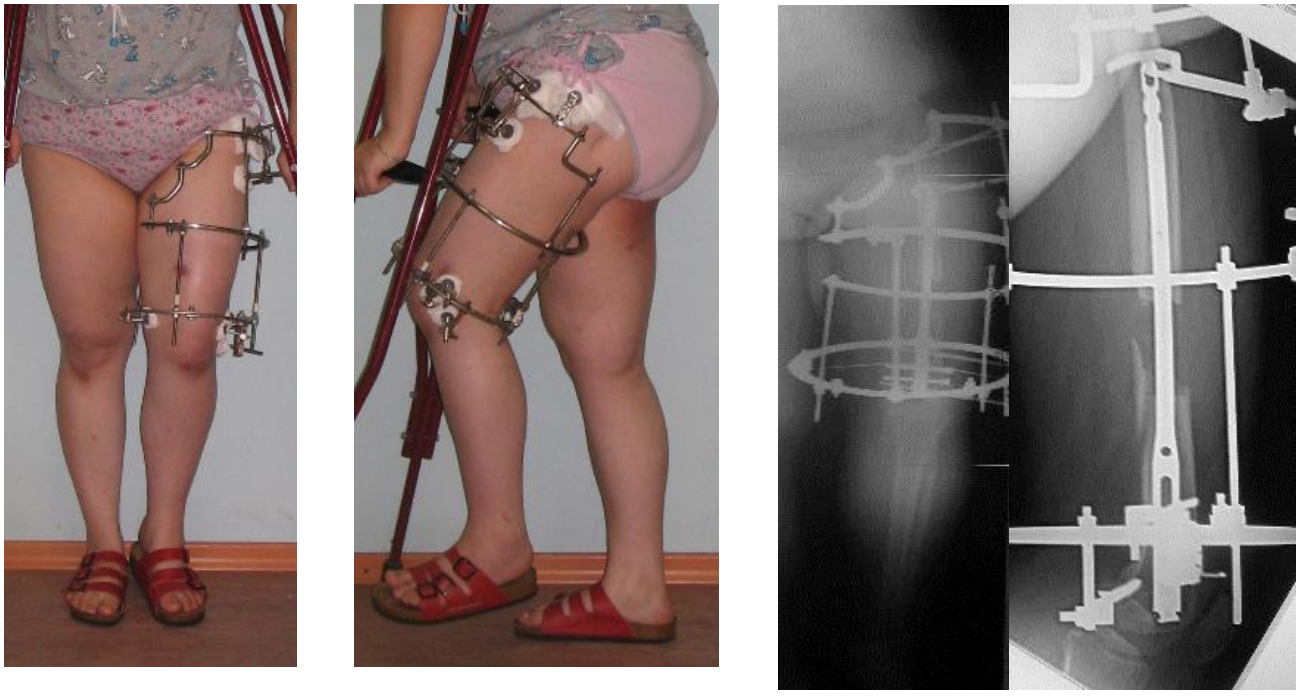


Рис.5.1. Пациентка Б. до удлинения: а – внешний вид конечностей пациентки; б – рентгенограммы.



а

б

в

Рис.5.2. Пациентка Б. в конце периода дистракции: а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограммы нижних конечностей.



а

б

в

Рис.5.3. Пациентка Б. после демонтажа АВФ: а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограммы нижних конечностей.

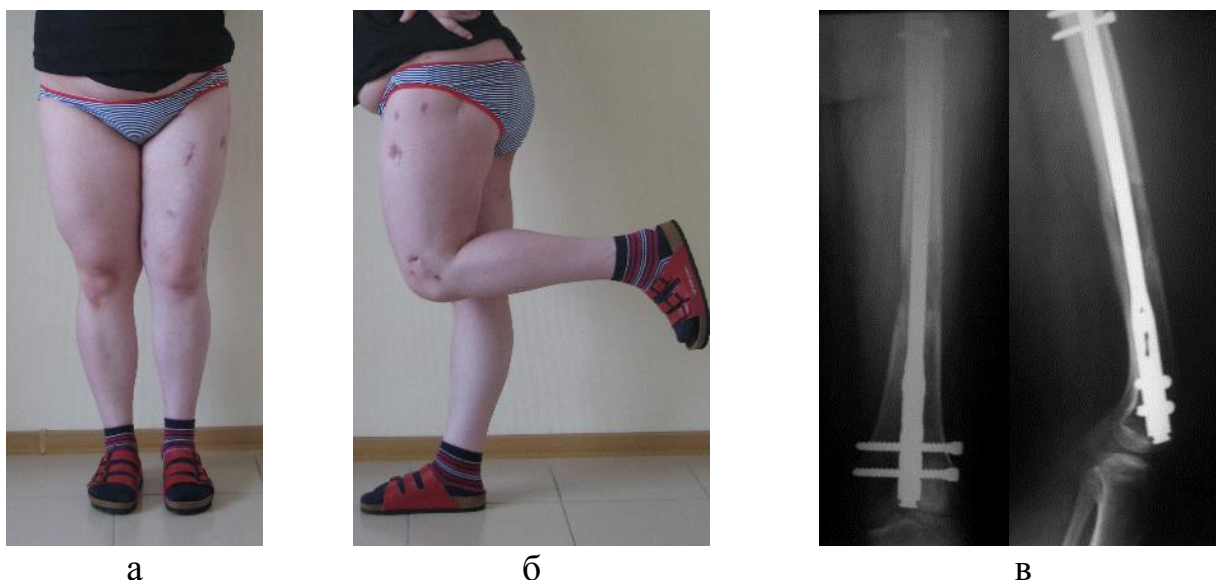


Рис.5.4. Результат лечения пациентки Б. а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограммы.

### 5.1.3. Сравнительная оценка осложнений в клинических группах.

Характеристика осложнений по группам и посегментно представлена в табл. 5.3. Осложнения в группе УПГ отмечены у 23 пациентов. Всего 32 осложнений (54,2%), при этом у 4-х пациентов отмечено по несколько осложнений. В группе ЧО осложнения отмечены у 51 пациентов. Всего 77 осложнения (96,3%), по несколько осложнений отмечено у 7-и пациентов. При удлинении бедра в обеих группах отмечено большее количество осложнений, чем при удлинении голени. Так в группе 1 при удлинении бедренной кости было 24 осложнения (64,7%), тогда как при удлинении голени 8 (36,4%). В группе ЧО – 53 (120,4%) и 24 (66,7%) соответственно. Осложнения категории Caton I, не потребовавшие дополнительных хирургических манипуляций и не отразившиеся на результате лечения отмечены в группе УПГ в 10 случаях (16,9%), в группе ЧО – в 28 случаях (35%). Осложнения категории Caton II, потребовавшие дополнительных хирургических манипуляций, но не отразившиеся на результате лечения, отмечены в группе 1 в 20 случаях (33,9%), в группе 2 – в 45 случаях (56,3%). Осложнения категории Caton III, при которых даже в результате дополнительных хирургических вмешательств не было достигнуто результата, отмечены в группе УПГ в 1 случае (2,7%), а в группе ЧО – в 4 случаях (5%).

Таблица 5.3. Осложнения.

Группы		Группа 1 (УПГ)		Группа 2 (ЧО)	
		Бедро	Голень	Бедро	Голень
Количество случаев		37	22	44	36
Осложнения по Caton		Количество (%)			
Воспаление в области ЧЭ	I	4 (10,8%)	2 (9,1%)	19 (43,2%)	2 (5,6%)
	II	2 (5,4%)	-	2 (4,5%)	2 (5,6%)
	всего	6 (16,2%)	2 (9,1%)	21 (47,7%)	4 (11,1%)
Глубокая инфекция (или обострение хронической)	II	2 (5,4%)	-	4 (9,1%)	-
	III	1 (2,7%)	-	-	-
	всего	3 (8,1%)	-	4 (9,1%)	-
Перелом, деформация или нестабильность ЧЭ	I	2 (5,4%)	-	1 (2,3%)	-
	II	1 (2,7%)	-	3 (9,1%)	3 (8,3%)
	всего	3 (8,1%)	-	4 (9,1%)	3 (8,3%)
Переломы или деформация внутренних конструкций	II	2 (5,4%)	-	-	-
	всего	2 (5,4%)	-	-	-
Переломы после демонтажа АВФ	II	-	-	-	1 (2,8%)
	III	-	-	3 (6,8%)	-
	всего	-	-	3 (6,8%)	1 (2,8%)
Периимплантные переломы	II	1 (2,7%)	-	-	-
	всего	1 (2,7%)	-	-	-
Деформация регенерата	I	-	-	1 (2,7%)	1 (2,8%)
	II	1 (2,7%)	-	6 (13,6%)	-
	всего	1 (2,7%)	-	7 (15,9%)	1 (2,8%)
Нарушения процессов консолидации	I	1 (2,7%)	-	-	1 (2,8%)
	II	2 (5,4%)	1 (4,5%)	5 (11,4%)	6 (16,7%)
	III	-	-	-	1 (2,8%)
	всего	3 (8,1%)	1 (4,5%)	5 (11,4%)	8 (22,2%)
Преждевременное сращение	II	4 (10,8%)	1 (4,5%)	-	-
	всего	4 (10,8%)	1 (4,5%)	-	-
Контрактуры, подвывихи	II	-	3 (13,6%)	9 (20,5%)	4 (11,1%)
	всего	-	3 (13,6%)	9 (20,5%)	4 (11,1%)
Невропатии	I	-	1 (4,5%)	-	3 (8,6%)
	всего	-	1 (4,5%)	-	3 (8,6%)
Всего осложнений	I	7 (18,9%)	3 (13,6%)	21 (47,7%)	7 (19,4%)
	II	15 (40,5%)	5 (22,7%)	29 (65,9%)	16 (44,4%)
	III	1 (2,7%)	-	3 (6,8%)	1 (2,8%)
	всего	23 (62,1%)	8 (36,4%)	53 (120,4%)	24 (66,7%)



В группе ЧО воспаление в области проведения чрескостных элементов отмечены в группе УПГ только в 8 из 59 случаев (13,6%), в группе сравнения в 25 из 80 случаев (31,3%). При этом преимущественно это были осложнения категории Caton I (6 в группе УПГ и 21 в группе ЧО). Перелом или деформация чрескостных элементов, в группе 2 отмечено в 7 случаях (8,8%), все они относились к категории Caton II. В то же время в группе 1 данное осложнение отмечено только в трех случаях (5,1%) и к категории Caton I относилось 2 осложнения, так как не потребовалось проведения дополнительных чрескостных элементов, перепроведение потребовалось только в 1 случае в этой группе. Но отмечен 1 случай деформации блокирующих винтов после перехода на внутреннюю фиксацию и демонтажа аппарата, который потребовал дополнительного хирургического вмешательства (Caton II) и 1 случай перелома блокирующих винтов с последующей потерей длины регенерата, который также потребовал дополнительного хирургического вмешательства. Преждевременное сращение отмечено только в группе 1 в 5 случаях (7,3%), так как проблема не была решена за счет форсированной дистракции, и они отнесены к категории Caton II. Перелом регенерата после демонтажа АВФ отмечен только в группе ЧО в 4 случаях (5%) и требовал дополнительных хирургических вмешательств, в 3 случаях это повлияло на финальный результат лечения (Caton III). Деформация регенерата отмечена в группе УПГ в 1 случае (1,7%) и была связана с переломом блокирующих винтов при раннем увеличении нагрузки. В группе 2 это осложнение отмечено в 8 случаях (10%). Нарушения процессов консолидации в виде гипотрофического регенерата или формирования ложного сустава отмечены несколько чаще в группе ЧО – в 13 случаях (16,3%), тогда как в группе УПГ – в 4 случаях (6,8%). В большинстве случаев (3 при УПГ и 11 при ЧО) данные осложнения потребовали дополнительного хирургического вмешательства (Caton II). В 1 случае в группе 2 это осложнение повлияло на результат лечения (Caton III). Глубокая инфекция отмечена в 3 случаях в группе 1 и в 4 случаях – в группе 2, что составило 5,1% и 5% соответственно. В одном случае в группе УПГ это осложнение привело к потере результата лечения (Caton III). Контрактуры суставов или подвывихи отмечены в

группе УПГ в 3 случаях (5,1%), в группе ЧО в 13 случаях (16,3 %), в обеих группах эти осложнения относились к категории Caton II. При удлинении бедренной кости не отмечено тракционных невропатий в обеих группах, при удлинении голени невропатии отмечены в 3 (3,8%) случаях при ЧО и в 1 (1,7%) случае при УПГ и купировались консервативными методами лечения (Caton I).

#### 5.1.4. Сравнение данных субъективной оценки результатов лечения.

66% пациентов в обеих группах обследованы на всех сроках: до операции, через 1-2 мес. после перехода на внутреннюю фиксацию в группе УПГ или после начала периода фиксации в группе ЧО, через 6 месяцев и 1–2 года после демонтажа аппарата внешней фиксации в группе 2 или после перехода к полной нагрузке при ходьбе в группе 1. Сравнительные данные оценки функционального состояния по шкале LEFS до удлинения конечности и качества жизни по шкале SF-36 через 1-2 мес. после перехода на внутреннюю фиксацию в группе 1 или после начала периода фиксации в группе 2, через 6 месяцев и 1–2 года после перехода к полной нагрузке представлены в табл. 5.4 и табл. 5.5.

Табл. 5.4. Сравнительная оценка функционального состояния по шкале LEFS.

Оценка по шкале LEFS 0–80 баллов (%)	До удлинения	После перехода на внутреннюю фиксацию	Через 6 мес. после демонтажа аппарата	Через 1–2 года после демонтажа аппарата
Группа 1 (УПГ)	49,6±3,1 (61,9±3,9%)	44,8±1,0 (56±1,2%)	56,5±2,0 (71,0±2,5%)	65,9±1,9 (82,4±2,4%)
Оценка по шкале LEFS 0–80 баллов (%)	До удлинения	В фазе фиксации	Через 6 мес. после перехода к полной нагрузке	Через 1–2 года после перехода к полной нагрузке
Группа 2 (ЧО)	54,0±3,6 (67,4±4,5%)	37,8±0,55 (47,3±0,68)	61,5±2,7 (76,9±3,4%)	67,9±2,4 (84,8±3,0%)

Исходя из данных представленной выше таблицы, среднее значение в баллах до оперативного лечения составляло в группах УПГ и ЧО  $49,6 \pm 3,1$  и  $54,0 \pm 3,6$  соответственно ( $p > 0,05$ ). На сроке 1-2 мес. после перехода на внутреннюю фиксацию пациент в группе 1 имели более высокие показатели функционального состояния ( $44,8 \pm 1,0$ ), чем пациенты группы 2 ( $37,8 \pm 0,55$ ) с достоверной разницей в показателях ( $p < 0,05$ ). На сроке наблюдения 6 месяцев после демонтажа аппарата (переход к полной нагрузке) значение составило для групп УПГ и ЧО  $56,5 \pm 2,0$  и  $61,5 \pm 2,7$ , соответственно, статистически также без достоверных различий в показателях ( $p > 0,05$ ). Через 1–2 года после перехода к полной нагрузке (демонтажа аппарата) среднее значение составило уже  $65,9 \pm 1,9$  и  $67,9 \pm 2,4$  баллов для групп УПГ и ЧО, соответственно, также без достоверной разницы ( $p > 0,05$ ). В целом на основании полученных данных можно сделать вывод о том, что демонтаж аппарата в группе УПГ повышает функциональный статус у пациентов и об отсутствии различий в функциональном состоянии пациентов между группами на отдаленных сроках.

При сравнительной оценке показателей качества жизни по шкале шкалы SF-36 наиболее отличительным был срок через 1–2 мес. после перехода на внутреннюю фиксацию в группе 1 или после начала периода фиксации в группе 2. На этом сроке значение показателей и физического и психического здоровья в группе УПГ достоверно ( $p < 0,05$ ) превосходили аналогичные в группе ЧО. Хотя общий физический компонент здоровья на этом сроке и не доходил до уровня дооперационного, но психологический компонент и его составляющие (SF, RE, MH) превышали аналогичные на дооперационном этапе.

При сравнительном анализе между группами отмечены в группе 1 более высокие показатели шкалы SF-36 «Эмоциональное функционирование - RE» на сроке 6 месяцев и 1-2 года после перехода к полной нагрузке ( $p < 0,05$ ) по сравнению с группой 2. Но показатель «Эмоциональное функционирование (RE)» в группе 2 был значимо ниже и до удлинения конечности ( $p < 0,05$ ), в то же время в группе 1 исходно был значимо ниже показатель «Ролевое (физическое) функционирование (RP)» ( $p < 0,05$ ).

Табл. 5.5. Сравнение показателей качества жизни по шкале SF-36.

Показатели шкалы SF-36	До удлинения		После перехода на внутреннюю фиксацию	В фазе фиксации	Через 6 мес. после перехода к полной нагрузке	Через 6 мес. после снятия аппарата	Через 1-2 года после перехода к полной нагрузке	Через 1-2 года после снятия аппарата
	УПГ	ЧО	УПГ	ЧО	УПГ	ЧО	УПГ	ЧО
PF	52,8±5,0	58,5±5,5	35,5±1,7	17,1±2,8	71,0±3,4	70,0±4,4	82,9±3,3	83,3±4,3
RP	34,5±6,5	54,2±7,5	60,5±6,8	0	63,8±5,0	65,6±6,3	84,5±4,3	76,0±6,0
BP	61,5±3,8	55,2±5,2	82,6±4,2	45,2±1,2	71,2±3,1	67,0±4,6	89,7±2,9	86,6±4,3
GH	60,8±3,3	66,4±3,6	69,1±1,8	50,6±1,4	65,4±2,2	67,1±3,5	69,1±2,0	67,7±4,1
VT	62,2±1,9	62,5±5,6	65,3±0,8	47,1±1,7	67,8±1,4	71,3±5,2	71,4±1,3	80,8±4,5
SF	75,4±3,6	73,1±4,6	97,4±1,6	64,5±3,0	85,3±2,5	85,5±4,4	92,2±3,0	90,7±3,7
RE	73,6±6,8	50,6±8,6	93,0±5,1	33,3±0,1	98,9±1,2	79,8±5,1	96,9±3,2	80,7±4,9
MH	64,1±2,2	68,8±4,1	72,8±1,7	52,8±1,7	68,1±1,6	77,8±4,3	72,3±2,0	85,7±3,7
Физический компонент здоровья	38,2±1,9	48,5±4,3	39,5±1,3	27,7±0,3	44,2±1,4	45,7±3,5	50,9±1,2	49,7±4,2
Психологический компонент здоровья	50,8±1,2	49,4±9,6	57,1±1,7	45,0±1,0	53,7±0,8	51,3±3,6	53,4±0,7	53,7±2,5

Показатель «Психологическое здоровье» не имел значимых отличий до операции. Но после перехода на внутреннюю фиксацию заметно повышался

относительно группы 2 ( $p < 0,05$ ), но на сроках 6 мес. и 1–2 года имел в группе 1 более низкие значения ( $p < 0,05$ ). Показатель «Жизненная активность - VT» на сроке 1–2 года также значимо отличался от группы 2 ( $p < 0,05$ ), на сроке 6 месяцев значимых отличий не выявлено ( $p > 0,05$ ).

При этом показатели физического функционирования по шкалам SF-36 и LEFS значимых отличий в группах не имели ( $p > 0,05$ ), как и показатели интенсивности боли и общего состояния здоровья. При этом физический компонент здоровья исходно в группе УПГ был достоверно ниже, чем группе ЧО ( $p < 0,05$ ). Однако общее физическое и психологическое здоровье в обеих группах на сроках 6 мес. и 1–2 года было на схожем уровне и не имело достоверных различий ( $p > 0,05$ ).

#### **5.1.5. Комплексная оценка результатов лечения.**

Для оценки результатов лечения нами в обеих группах была использована система оценки результатов лечения предложенная D. Paley (1997) с модификацией R. D. Burghardt (2016) для бедренной кости. Данная система позволяет проведена Шкала позволяет совместить объективные результаты с субъективным восприятием пациентом полученного результата.

Результаты оценки лечения по Paley на сроке 1–2 года после окончания лечения представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. Оценка результата лечения по Paley

Группа	1 (УПГ)	2 (ЧО)
Результат (количество/%)		
Отличный	16 (27,1%)	12 (15%)
Хороший	27 (45,8%)	47 (58,75%)
Удовлетворительный	15 (25,4%)	19 (23,75%)
Плохой (неудовлетворительный)	1 (1,7%)	2 (2,5%)

В обеих группах представлена оценка по количеству отличных, хороших, удовлетворительных и неудовлетворительных результатов. В обеих группах доля отличных и хороших результатов составляла 72,9 % и 73,75% для групп 1 и 2 соответственно. Таким образом, можно констатировать, что доля хороших и отличных исходов лечения первой клинической группы, не уступает доле хороших и отличных результатов у пациентов второй группы. Доли удовлетворительных результатов в группах также были сопоставимы (группа УПГ–25,4%; ЧО–23,75%). Количество неудовлетворительных результатов лечения было прямо пропорционально количеству осложнений категории Caton III в обеих группах.

*Клинический пример 2 – удлинение бедренной кости по Илизарову.*

Пациентка А., 21 год, госпитализирована в 7 отд. РНИИТО им. Р.Р.Вредена в 2018 г. В анамнезе: двусторонний врожденный вывих бедра. В 2014 г. выполнено тотальное эндопротезирование левого тазобедренного сустава. Остаточное укорочение левой бедренной кости 4 см, функция коленного сустава удовлетворительная (рис.5.5). С целью компенсации укорочения выполнен комбинированный ЧО левой бедренной кости, ЭФ (наличие ножка эндопротеза). Дистракция в течение 50 дней с уменьшающимся темпом. По окончании удлинения механическая ось конечности в пределах физиологической девиации, функция коленного сустава снижена (конфликт с опорой аппарата) (рис.5.6). После клинической и динамической пробы на сращение выполнен демонтаж АВФ, период фиксации 165 дней. Из осложнений отмечен перелом стержня-шурупа, дополнительных чрескостных элементов не проводилось (Caton I). Через полгода объем движений в коленном суставе полностью восстановлен, через год после демонтажа аппарата перестройка дистракционного регенерата завершена (рис. 5.7).

Согласно системе оценки результата Paley (1997) по таблице сложения получено: 25 баллов - отсутствие фиксированной сгибательной контрактуры и восстановление объема движений в коленном суставе до 90% от дооперационного уровня; 25 баллов – полученный дистракционный регенерат в интервале до 1,0 см от планируемого; 25 баллов - походка без хромоты; 25 баллов – мЛДБУ составил 88°. Суммарно - 100 баллов. Согласно системе оценки результата Paley (1997) по

таблице вычитания получено: 0 – отсутствие боли; 0 – возможность выполнять повседневную работу без ограничения. Итого – 100 баллов – отличный результат.

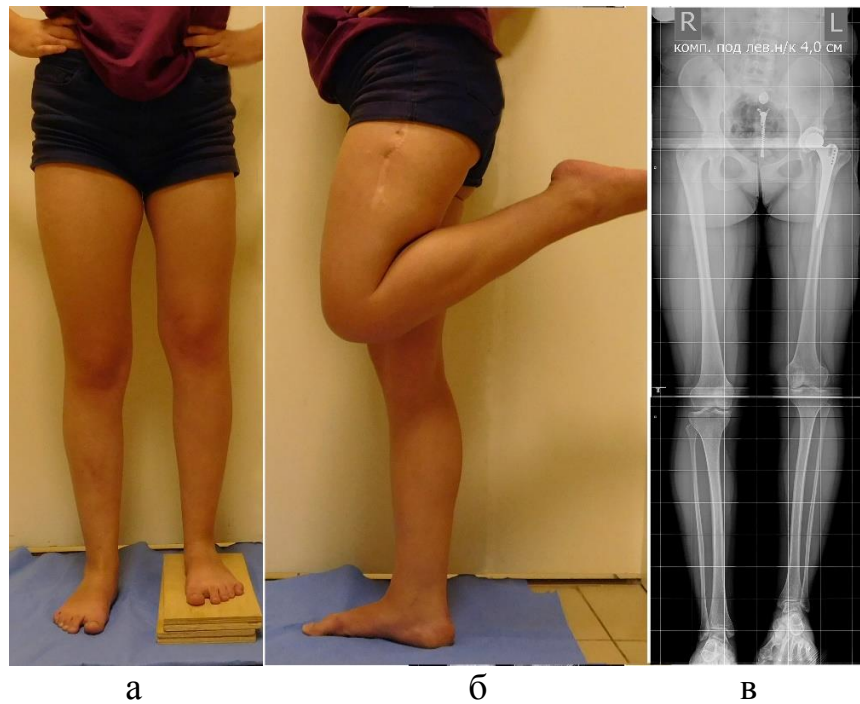


Рис.5.5. Пациентка А. до удлинения: а – внешний вид конечностей пациентки, б – функция коленного сустава, в – рентгенограммы.

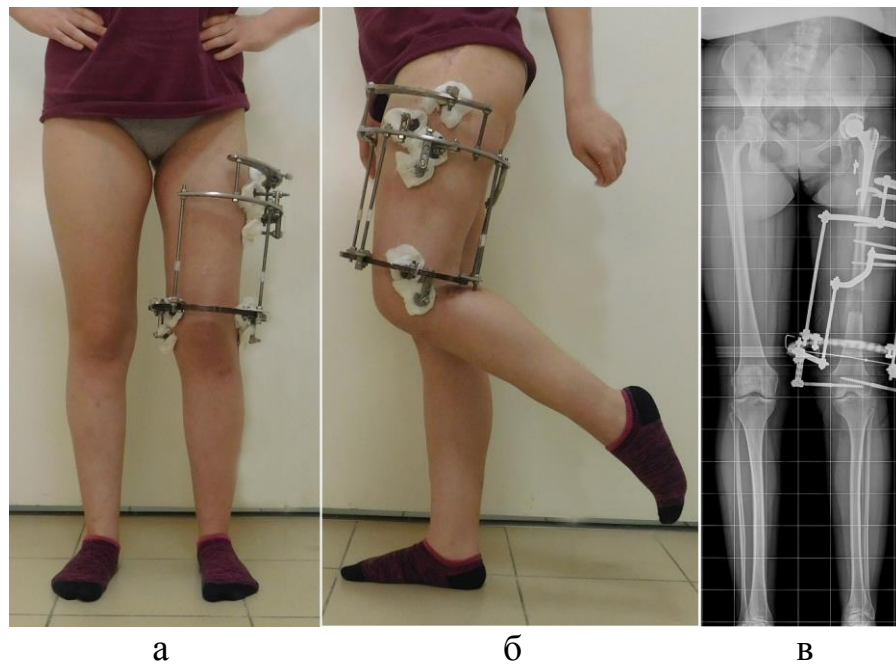


Рис. 5.6. Пациентка А. в начало фазы фиксации. а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограмма нижних конечностей.

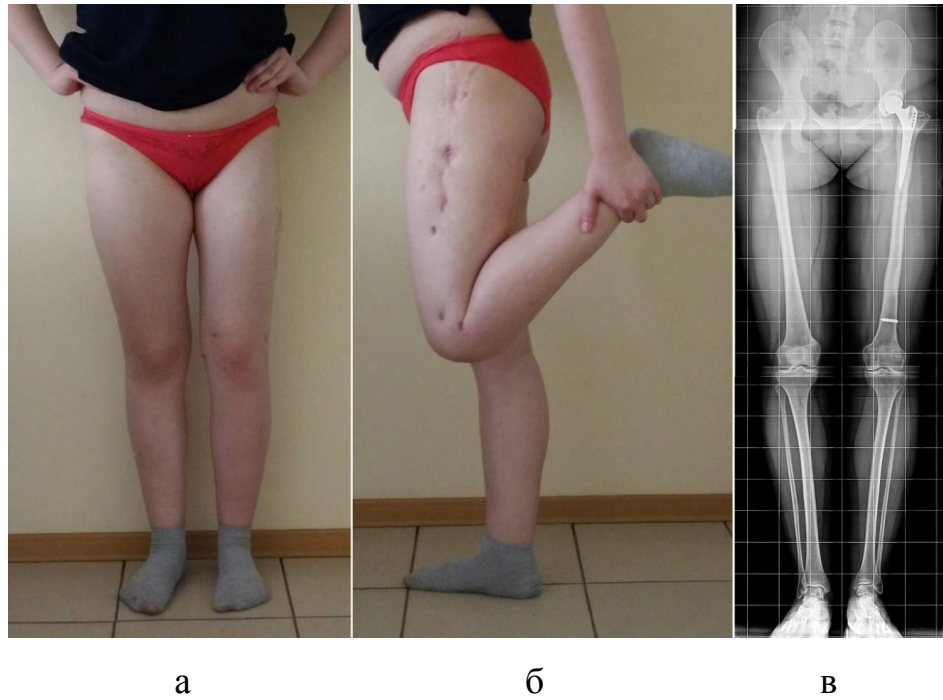


Рис 5.7. Результат лечения пациентки А. через год после демонтажа аппарата: а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограмма нижних конечностей.

*Клинический пример 3 – удлинение бедренной кости поверх гвоздя.*

Пациент Ф., 30 лет, получил травму при ДТП в 2008 г., в городском стационаре выполнен накостный остеосинтез переломов левых бедренной и большеберцовой костей. Перелом пластины на бедре в раннем послеоперационном периоде, реостеосинтез стержнем с блокированием. Полная нагрузка разрешена через 6 месяцев после операции, отмечена деформация левого бедра, укорочение; выявлен перелом винтов, миграция стержня, формирование ложного сустава. В 2009 г. госпитализирован в РНИИТО им. Р.Р.Вредена. Выполнено устранение деформации во времени в аппарате внешней фиксации с последующим переходом на БИОС. Достигнуто сращение в области ложного сустава, остаточное укорочение 4 см, функция коленного сустава восстановлена (рис.5.8). Для второго этапа лечения госпитализирован в плановом порядке. Выполнено удаление дистальных блокирующих винтов, комбинированный ЧО бедренной кости с использованием ЭФ на основе компоновок, разработанных согласно патенту РФ на изобретение № 2584555. Дистракция в течение 50 дней с уменьшением темпа. В процессе дистракции движения в коленном суставе были ограничены конструкциями



аппарата внешней фиксации (рис. 5.9). При выполнении контрольной рентгенографии выявлено несоответствие величины регенерата темпу distraction, выявлен конфликт в сагиттальной плоскости интрамедуллярного стержня со стенкой канала бедренной кости. В качестве решения возникшего осложнения выполнен монтаж ортопедического гексапода, что обеспечило достижение необходимой длины регенерата (рис. 5.10). Далее выполнено дистальное блокирование, демонтаж АВФ. Также из осложнений отмечена деформация дистальных блокирующих винтов в ближайшем послеоперационном периоде при случайном превышении разрешенной дозированной нагрузки, проведена замена деформированных винтов (Caton II), потери длины регенерата не произошло. После демонтажа АВФ объем движений в коленном суставе увеличился (рис. 5.11). Через 4 месяца после демонтажа АВФ разрешена полная нагрузка, к этому моменту функция коленного сустава восстановлена в полном объеме (рис. 5.12). Через 2 года констатирована перестройка distractionного регенерата завершена.

Согласно системе оценки результата Paley (1997) по таблице сложения получено: 25 баллов - отсутствие фиксированной сгибательной контрактуры и восстановление объема движений в коленном суставе до 90% от дооперационного уровня; 25 баллов – полученный distractionный регенерат в интервале до 1,0 см от планируемого; 20 баллов - походка с легкой хромотой; 25 баллов – мЛДБУ составил 90°. Суммарно - 95 баллов. Согласно системе оценки результата Paley (1997) по таблице вычитания получено: 20 – периодическая легкая боль; 0 – возможность выполнять повседневную работу без ограничения. Итого – 80 баллов – хороший результат.

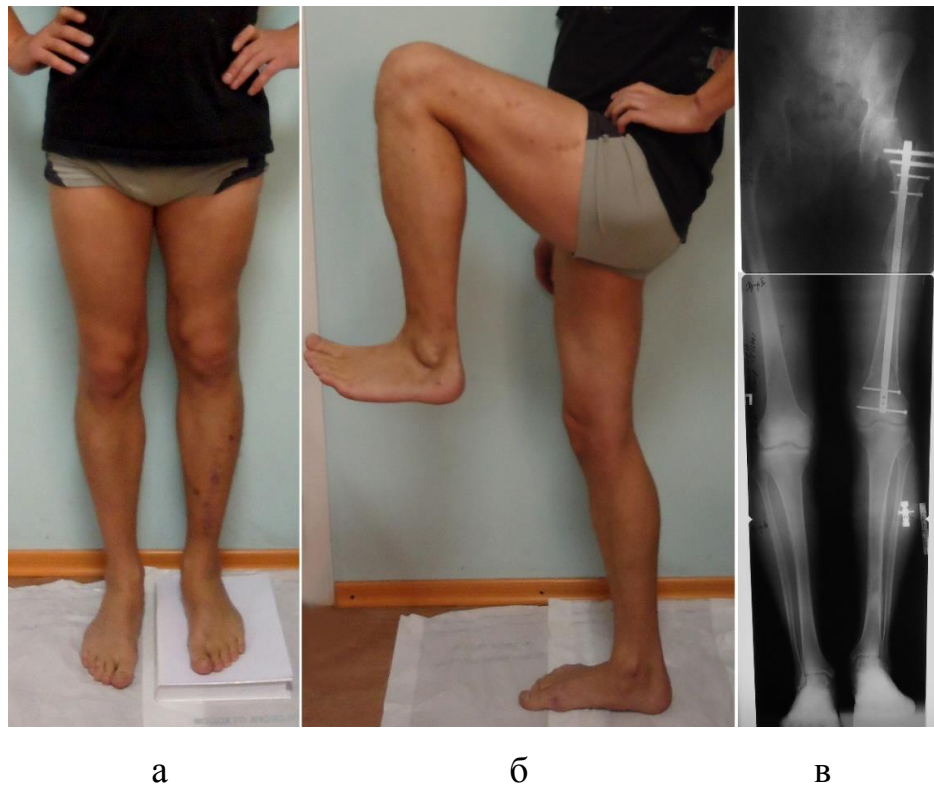
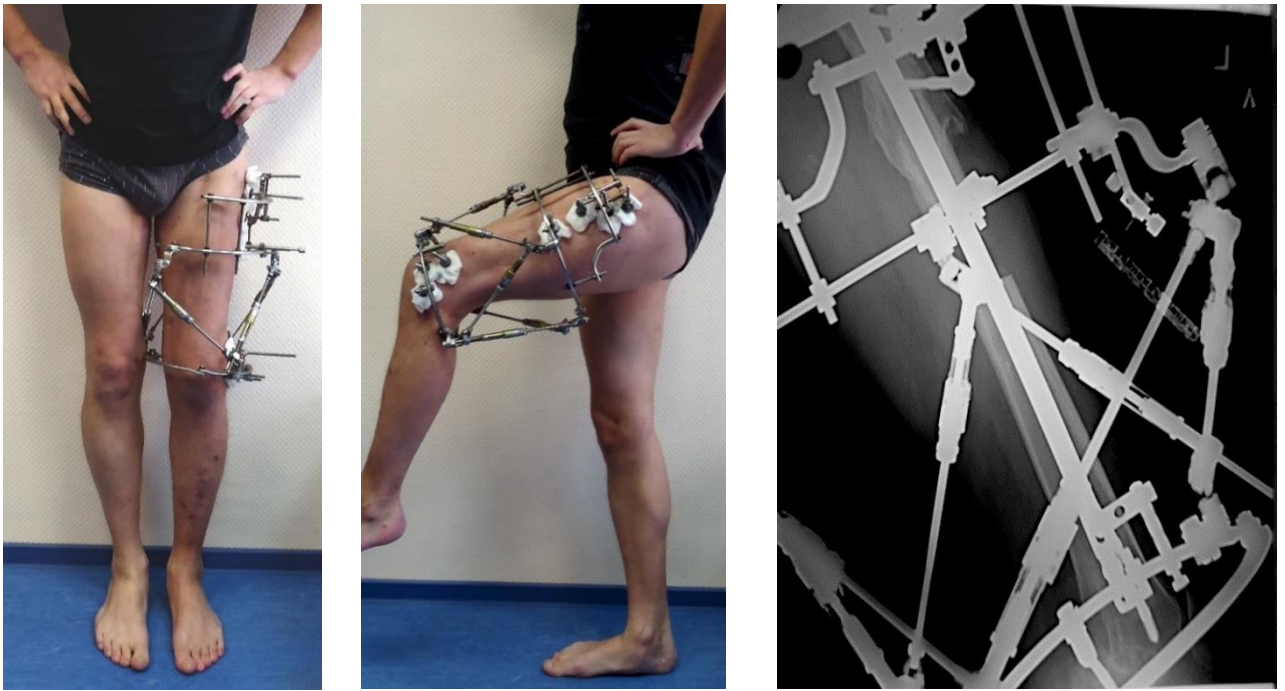


Рис.5.8. Пациент А. до удлинения: а – внешний вид; б – функция коленного сустава; в – рентгенограмма.



Рис.5.9. Пациент Ф. в периоде дистракции: а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограмма.



а

б

в

Рис.5.10. Пациент Ф. в периоде окончательной коррекции: а – внешний вид конечностей; б - функция коленного сустава; в – рентгенограммы



а

б

в

Рис.5.11. Пациент Ф. после дистального блокирования стержня и демонтажа аппарата внешней фиксации: а – внешний вид конечностей; б - функция коленного сустава; в - рентгенограммы.

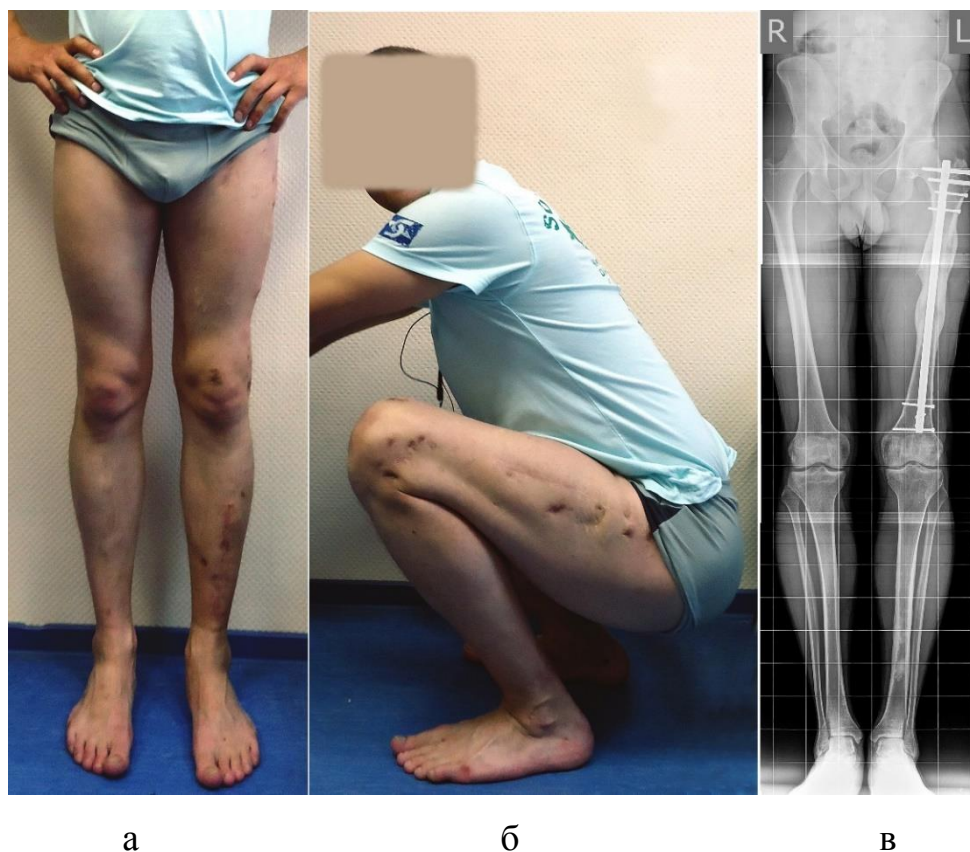


Рис. 5.12. Результат лечения пациента Ф. а – внешний вид конечностей; б – функция коленного сустава; в – рентгенограмма.

### 5.1.6. Обсуждение полученных результатов.

Большинство авторов (Paley D. et al., 1997; Watanabe K. et al., 2005; Park H. et al., 2008; Kim H. et al., 2011), сравнивая УПГ (LON) и удлинение по Илизарову костей нижних конечностей, отмечают уменьшение периода чрескостного остеосинтеза при УПГ в 3-5 раз, при этом дистальное блокирование стержня производят сразу по окончании удлинения (Burghardt R. et al. 2016; Farsetti P. et al., 2019; Kristiansen L. et al., 1999). В ходе анализа исходов лечения отмечено уменьшение периода чрескостного остеосинтеза в 3,7 раза. Но по окончании дистракции только у 26 из 59 пациентов сразу было запланировано и выполнено в первые 3-е суток блокирование стержня и демонтаж аппарата. У остальных пациентов был вынужденный период фиксации от 5 до 218 дней. Наличие вынужденного периода фиксации преимущественно было связано с организационными проблемами повторной госпитализации пациентов и только в 3

случаях с сопутствующей патологией, потребовавшей отсрочить вторую операцию.

Большинство авторов при применении УПГ указывают значение индекса консолидации на значении 1,7–1,8 мес./см (Paley D. et al., 1997; Watanabe K. et al., 2005; Park H. et al., 2008; Burghardt R. et al. 2016), что соответствует 51–54 дням/см и при сравнении с удлинением по Илизарову данный показатель имеет схожие показатели. При оценке индекса консолидации нами отмечено снижение этого показателя в группе 1 для бедренной кости на 15,5%, для голени на 35% по сравнению с показателями в группе ЧО. Периода консолидации в группе УПГ снижается на 24% для бедренной кости и на 38% для голени по сравнению с группой ЧО. Такая разница в показателях может быть связана в первую очередь возможностью более ранним переходом на полную нагрузку на удлиненную конечность при УПГ в виду наличия интрамедуллярного фиксатора. Определенное влияние может оказывать и субъективность в оценке консолидации по рентгенологической картине и при проведении клинической пробы у пациентов, удлиняющихся в аппарате.

В ходе рентгенологической оценки референтных линий и углов основные показатели углов в обеих группах были в референтном интервале, а в ходе лечения среднее значение девиации механической оси в обеих группах переместились в референтный интервал. Для бедренной кости при применении методики УПГ очень важно предоперационное планирование с оценкой отклонения механической оси конечности в ходе удлинения, так как оно происходит по анатомической оси сегмента. В группе 1 вальгусное смещение механической оси развилось в 1 случае у пациентки с деформацией в проксимальном отделе бедренной кости, которой требовался второй этап лечения в виде протезирования тазобедренного сустава. При удлинении монологатеральными аппаратами по данным литературы характерны варусные деформации бедренной кости. T.F. EL-Husseini (2013) отмечает такие деформации в 20%. При УПГ голени с применением циркулярных аппаратов S.J. Kim (2012) указывает на вальгусные деформации, которые в ходе его исследования развились в 27,5%. Большинство авторов в публикациях по тематике не отмечает

возникновение деформаций при УПГ в ходе distraction (Watanabe K. et al., 2005; Song H. et al., 2005; Park H. et al., 2008; Guo Q. et al., 2012; Farsetti P. et al., 2019). В качестве профилактики развития вторичных деформаций в ходе удлинения при УПГ рядом авторов рекомендуется установка ограничивающих винтов (Kim S.J. et al., 2012).

Отмечено 24 осложнений на 37 случаев УПГ бедренной кости (64,7%) и 7 осложнений на 22 случаев УПГ голени (31,8%), тогда как при применении только ЧО отмечено 54 осложнений на 44 случаев удлинения бедра (122,7%) и 23 осложнений на 36 случаев удлинения голени (63,9%). При этом у ряда пациентов было по несколько осложнений. Эти данные ниже, приводимых другими авторами. Так D.Paley (1997) при удлинении бедренной кости отмечает 45 осложнений на 39 случаев по методике LON (140,6%), 70 на 61 случай удлинения по Илизарову (114,8%). K.Watanabe (2005) при удлинении голени отмечает 9 осложнений в 13 случаях (69,2%) при методике LON и 24 осложнения в 17 случаях (141,2 %) при применении только чрескостного остеосинтеза. H.W.Park (2008) при УПГ голени указывает на 69 осложнений в 56 случаях (123,2%), при удлинении по Илизарову – 82 осложнения в 32 случаях (141,2%). S.R. Rozbruch (2016) при УПГ голени указывает на 27 осложнений в 19 случаях (142,1%), при удлинении по Илизарову – 23 осложнения в 19 случаях (121,1%). Такая разница в показателях осложнений связана, в первую очередь, с неоднозначной трактовкой воспаления в области чрескостных элементов и контрактур суставов. Существует мнение, что воспаление в области чрескостных элементов, присутствует практически в 100% случаев применения аппарата внешней фиксации (Paley D. et al., 1992, 1997; Rozbruch S. et al., 2016; Hosny, G., 2020). Мы констатировали воспаление в области чрескостного элемента в тех случаях, когда были признаки инфильтрации с появлением отека и покраснения или имело место гнойное отделяемое. Данное осложнение нами отмечено при методике УПГ бедренной кости в 6 случаях из 37 (16,2%), при удлинении голени в 2 случаях из 22 (9,1%). При этом преимущественно это были осложнения категории Caton I. В группе 2 при удлинении бедра воспаление в области чрескостных элементов отмечено в 21 из 44

случаев (47,7%), при удлинении голени в 4 из 36 (11,1%), только в 4 случаях эти осложнения относились к категории Caton II. Другими авторами указывается до 20% воспалений в области чрескостных элементов при УПГ бедренной кости (Watanabe K. Et al., 2005; Kocaoglu M. et al., 2004), преимущественно Caton I; при УПГ голени от 11,1% до 73,7% категории Caton I и от 7,7% до 10,5% Caton II (Song H. et al., 2005; Watanabe K. et al., 2005; Farsetti P. et al., 2019). При применении только чрескостного остеосинтеза отмечают от 28,1% до 89,4% осложнений категории Caton I и до 17,6% категории Caton II (Song H. et al., 2005; Farsetti P. et al., 2019; Fragomen A. et al., 2017). В отечественной литературе в публикация посвященных использованию методики УПГ часть авторов не указывает о наличии осложнений как таковых (Шаповалов В.М., с соавт. 2010), либо опускают информацию об конкретных осложнениях приводя в результатах уже конечный исход клинического случая (Меркулов В.Н. с соавт., 2009; Ланцов В.В. с соавт., 2018).

Снижение объема движений в коленном суставе, связанное с ограничениями, вызванными внешней конструкцией в процессе дистракции и фиксации в аппарате при удлинении бедра отмечают все пациенты. Таким образом, после демонтажа аппарата необходимо проведение реабилитационного лечения, включающего физиотерапию, массаж и ЛФК. Так A.Bhave с соавт. (2017) указывает, что у большинства пациентов объем движений восстанавливается через 4–6 месяцев после демонтажа аппарата, а потеря объема движений от исходного составляет 1% при методике LON и около 5% при удлинении по Илизарову. Мы оценивали контрактуру как осложнение в случаях, когда реабилитационное лечение после демонтажа аппарата не позволило восстановить прежний объем движений или его потеря была минимальной (в пределах 5% от исходного объема движений). Данное осложнение при удлинении бедренной кости по методике УПГ нами не отмечено, при применении только ЧО отмечено в 9 случаях (20,5%) и потребовало дополнительного хирургического вмешательства. Данные других авторов отличаются в большом диапазоне. Так D.Paley с соавт. (1997) отмечает контрактуры коленного сустава в 2,9% случаев при LON бедренной кости и в 4,3%

при удлинении бедра по Илизарову. В то же время Н. J. Kim с соавт. (2011) отмечает до 20% контрактур коленного сустава при LON бедренной кости. Т. F. EL-Husseini (2013) отмечает контрактуры коленного сустава в 6,6% случаев при LON бедренной кости и в 37,5% при удлинении бедра по Илизарову. Контрактура голеностопного сустава при удлинении голени отмечена нами в группе УПГ в 3-х случаях (13,6%) и в 4 случаях в группе ЧО (11,1%), и все относились к категории Caton II. По данным различных авторов это осложнение в категории Caton II варьирует от 5,5% до 28,5% и связано не столько с методом удлинения, сколько с резервом мягких тканей и величиной удлинения (Kim H. et al., 2009; Watanabe K. et al., 2009; Kristiansen L.P. et al., 1999; Park H.W., et al., 2008; Kocaoglu M. et al., 2004). В то же время ряд авторов отмечают контрактуру голеностопного сустава в категории Caton I (от 3% до 72%), когда проблема была решена консервативными методами, фактически реабилитационными мероприятиями. Такая разница, с нашей точки зрения, связана в первую очередь с неоднозначностью трактовки контрактуры как осложнения, а с другой стороны, малочисленными группами менее 10 пациентов в ряде исследований. Длительность реабилитационных мероприятий и восстановление объема движений находятся в прямой зависимости от длительности фиксации в аппарате (Щуров В.А. с соавт., 2006).

Нарушения процессов консолидации (гипотрофический регенерат или формирование ложного сустава) при удлинении бедренной кости отмечены нами в группе УПГ в 3 случаях (8,1%) и не повлияли на конечный результат лечения, и только в 2 случаях потребовалось дополнительное хирургическое вмешательство (Caton II). В группе ЧО возникло 5 случаев (11,4%) и все они были категории Caton II. При удлинении голени в группе УПГ возник только 1 случай нарушения процессов консолидации Caton II (4,5%), тогда как в группе 2 возникло 8 случаев (22,2%). Из них 6 (16,7%) потребовали дополнительных вмешательств (Caton II), а одно (2,8%) повлияло на финальный результат лечения (Caton III). По данным других авторов частота данного осложнения варьирует в интервале 6–16% и характерно при удлинении голени (Kocaoglu M. et al., 2004; Watanabe K. et al., 2009; Jain S. et al., 2012; Farsetti P. et al., 2019).



Преждевременные сращения нами отмечены только в группе 1. При удлинении бедренной кости это осложнение возникло в 4 случаях (10,8%), на голени в 1 случае (4,5%), все они были категории Caton II. Эти данные несколько ниже приводимых другими авторами рисками от 7% до 15% (Paley D. et al., 1997; Kocaoglu M. et al., 2004; Park H. et al., 2008; Fernandes H., 2016), что в первую очередь связано с использованием экстракортикальных фиксаторов, позволяющих исключить конфликт чрескостных элементов с интрамедуллярным стержнем. На голени данное осложнение было обусловлено отставанием темпа distraction на амбулаторном этапе, форсирование темпа не решило проблему, потребовалась повторная остеотомия. На бедренной кости в 3-х случаях потребовалась повторная остеотомия, для решения осложнения в одном случае был применен ортопедический гексапод по методике предложенной Е.А. Щепкиной (2021). На бедренной кости развитие этого осложнения было обусловлено в первую очередь конфликтом интрамедуллярного стержня со стенками канала в сагиттальной плоскости.

Развитие глубокой инфекции в группе УПГ возникло в 3 случаях (8,1%) и только при удлинении бедренной кости. В 1 случае результат лечения был потерян. В группе 2 данное осложнение развилось в 4 случаях (9,1 %) также при удлинении бедра, но все эти осложнения были категории Caton II. В литературе указывают более высокие риски данного осложнения при УПГ от 5% до 14% (Kristiansen L. et al., 1999; Song, H. et al., 2005; Farsetti P. et al., 2019).

Невропатии отмечены нами только при удлинении голени – 1 случай по методике УПГ (1,7%) и 3 в группе ЧО (8,6%), все случаи относились к категории Caton I. В литературе частота данного осложнения варьирует широко от 3% до 16% и представлена всеми категориями по Caton – от I до III. Профилактика данного осложнения связана преимущественно с контролем темпа distraction в зависимости от состояния мягких тканей и исходной патологии периферических нервов (Ерохин А.Н., 2013), а не с выбором метода удлинения.

Переломы чрескостных элементов характерны для ЧО и зависит от длительности фазы фиксации, а их частота может превышать 100%. В группе 1

данное осложнение нами отмечено в 3 случаях (5,1%) при этом перепроведение (Caton II) потребовалось только в 1 случае. В группе ЧО данное осложнение развилось в 7 случаях (8,75%) в 6 из них потребовалось перепроведение ЧЭ (Caton II). Количество данных осложнений уменьшается при УПГ по данным различных авторов, при этом в публикациях разного времени также отмечается снижение этого показателя. Так L. Kristiansen и H. Steen в 1999 г. указывают на это осложнение у половины пациентов, H. W. Park с соавт. в 2008 г. в 39%, в работах последних лет указывают на снижение данного осложнения при методике УПГ до 5% (Burghardt R. D. et al., 2016; Farsetti P. et al., 2019), что отражает совершенствование методики по мере внедрения её в широкую клиническую практику.

Специфическим осложнением, связанным с внутренним фиксатором, является деформация или перелом блокирующих винтов. Нами это осложнение отмечено в 2-х случаях (3,9%) и было связано с превышением рекомендованной дозированной нагрузки. Эти осложнения не повлияли на результат лечения (Caton II), но потребовало дополнительного хирургического вмешательства – перепроведения блокирующих винтов. В литературе другие авторы также указывают на связь деформации (разрушения) внутренних фиксаторов с нарушением ортопедического режима (Kocaoglu M. et al., 2004; Song, H. et al., 2005).

Такое осложнение как перелом удлиняемого сегмента после демонтажа АВФ нами отмечено только в группе ЧО в 4 случаях (5%) в 3-х из них это сказалось на финальной длине удлиняемого сегмента (Caton III). Данное осложнение по данным литературы отмечаются в 3–18% случаев (Аранович А.М., с соавт., 2005; Paley D., 1997; Simpson A., et al. 1999;; Watanabe K. et al., 2005; Park H. et al., 2008; Burghardt R. et al., 2016). Деформация регенерата в ходе дистракции развилась в группе ЧО в 8 случаях (10%), в группе 1 в одном случае. Частота различных деформаций в ходе дистракции колеблется в интервале 5–12,5% (Аранович А.М. с соавт., 2005; Watanabe K. et al., 2005; Park H. et al., 2008). При применении УПГ наличие внутреннего фиксатора в большинстве случаев исключает данные осложнения.

Кроме снижения количества осложнений при методике УПГ в сравнении с ЧО большинство авторов отмечают повышение комфортности лечения для пациента. Косвенно это подтверждается в момент перехода на внутреннюю фиксацию. В этот период пациенты группы УПГ показывали более высокие показатели шкалы SF-36 «психическое здоровье - MH», «социальное функционирование (SF)» и «эмоциональное функционирование - RE» по сравнению с группой 2 ( $p < 0,05$ ). Общий психологический компонент здоровья на этом сроке превышал даже показатели на отдаленных сроках. Также на этом сроке повышались «ролевое (физическое) функционирование (RP)» и «общее состояние здоровья (GH), хотя суммарный физический компонент здоровья все еще был ниже, чем до операции, что отражается и в функциональной оценке по шкале LEFS. На этом сроке отмечалось снижение «интенсивности боли (BP)» по сравнению с группой ЧО в 1,8 раз ( $p < 0,05$ ), что находит подтверждение и в данных литературы (Щуров В.А. с соавт., 2017). В последующих сроках наблюдения показатели «эмоционального функционирования (RE)» в группе 2 были значимо ниже ( $p < 0,05$ ), как и до удлинения конечности, в то же время в группе 1 исходно был значимо ниже показатель «ролевое (физическое) функционирование (RP)» ( $p < 0,05$ ). Показатель «жизненная активность - VT» на сроке 1–2 года в группе 1 также значимо отличался от группы 2 ( $p < 0,05$ ). Однако большинство показателей и значения общего физического и психического здоровья к 1–2 годам после окончания лечения выравнивались в обеих группах.

При оценке исходов лечения по шкале Paley. В обеих группах доля отличных и хороших результатов составляла около 73%. Хотя в группе 1 доля отличных результатов составляла 27,1%, а в группе 2 – 15%. Доля удовлетворительных результатов также не сильно различалась и находилась в интервале 24–25%. Доля неудовлетворительных результатов была минимальной 1 случай в группе УПГ и 2 в группе ЧО. По данным литературы схожие данные приводит P. Farsetti (2019). Более высокие данные приводят D. Paley (1997), S.J. Kim (2011) и R. D. Burghardt (2016). В этих работах доля отличных результатов составляет до 80%, но в данных

исследованиях в основном включены либо пациенты молодого возраста, либо выполнялись эстетические удлинения голеней.

Проведенное исследование позволяет утверждать, что методика УПГ имеет ряд преимуществ перед удлинением с использованием только внешней фиксации за счет сокращения периода чрескостного остеосинтеза и связанного с ним снижения ряда осложнений. Описанные преимущества метода создают оптимальные условия для начала ранней функциональной реабилитации пациента в периоде внутренней фиксации, а следовательно, повышают комфортность лечения пациента и вероятность возвращения пациента к исходным качеству жизни и уровню физической активности. Однако, выбирая методику УПГ, необходимо скрупулезно оценивать все риски и при любых сомнениях отдать предпочтение удлинению по Илизарову.

## **5.2. Результаты клинического применения разработанного устройства направителя.**

### *Клинический пример 4 - применение устройства-направителя*

Пациент П., 60 лет, обратился с жалобами на боль, ограничение опоры и функции правой нижней конечности. Из анамнеза: травма в 2017 г. – перелом нижней трети правой бедренной кости. Было выполнено оперативное лечение: накостный остеосинтез правой бедренной кости углостабильной пластиной. Далее наблюдался амбулаторно по месту жительства, признаки консолидации правой бедренной кости отсутствовали, консультирован заочно в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, рекомендовано выполнение оперативного лечения. По данным рентгенологического исследования при госпитализации выявлен ложный сустав нижней трети правой бедренной кости в условиях накостного остеосинтеза (рис. 5.13).

Рис. 5.13. Рентгенологическая картина перед операцией.

Учитывая клиническую и рентгенологическую картину пациенту, было принято решение выполнить оперативное вмешательство в объеме: удаление установленной металлоконструкции, остеосинтез перелома интрамедуллярным

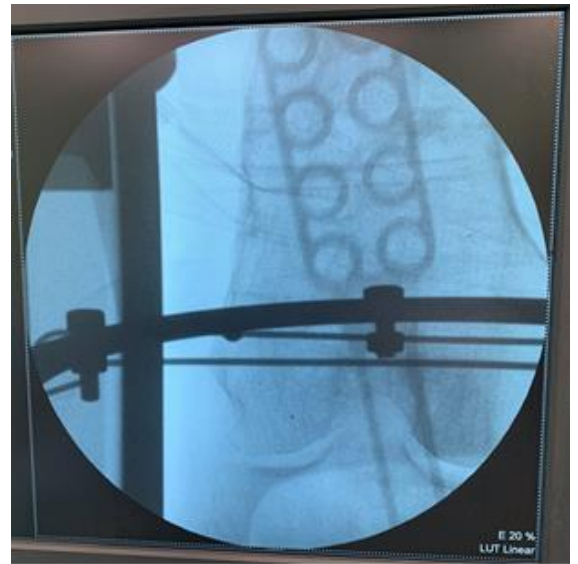


стержнем с блокированием. Учитывая наличие короткого дистального отломка с признаками остеопороза и последствиями установленной ранее накостной пластины принято решение об использовании направителя для точного позиционирования интрамедуллярного стержня в канале бедренной кости дистального фрагмента бедренной кости.

В ходе операции использовался описанный в главе 4 алгоритм применения устройства-направителя. Первым этапом, после удаления ранее установленной пластины, была установлена рама-направитель, на которую был смонтировано устройство-направитель с центрацией на суставной поверхности дистального отдела бедренной кости (рис. 5.14). В ходе операции с использованием направителя удалось точно позиционировать точку введения для интрамедуллярного стержня (рис. 5.15).



а

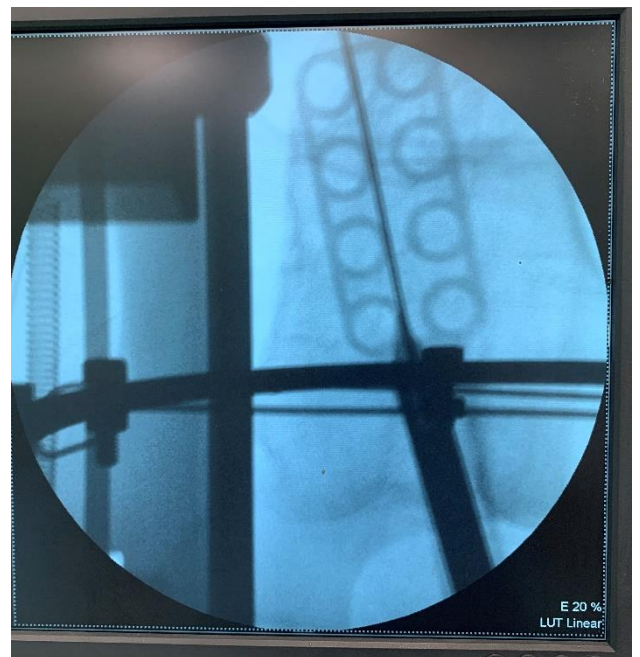


б

Рис. 5.14. Интраоперационная картина: а - правое бедро с установленной рамой-направителем; б – рентгенологическая картина с установленным направителем.



а



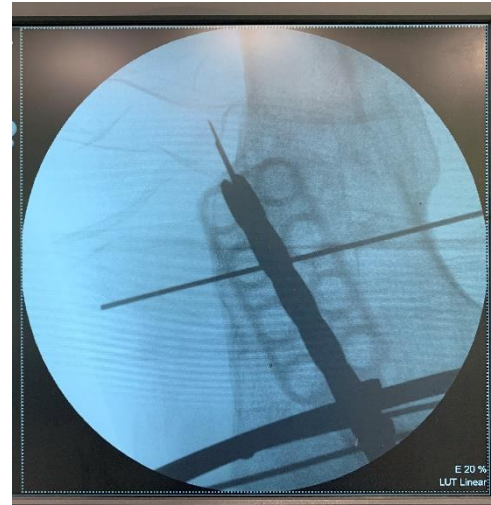
б

Рис. 5.15. Интраоперационная картина: а - правое бедро со сформированной точкой ввода; б – рентгенологическая картина с установленным направителем для формирования точки ввода.

Далее по спице было проведено риммирование дистального отдела бедренной кости (рис. 5.16).



а



б

Рис. 5.16. Интраоперационная картина: а — внешний вид конечности; б — рентгенологическая картина с установленным риммером.



Рис. 5.17. Проведение поллерных (ограничивающих винтов).

Далее выполнено проведение поллерных винтов в дистальной отделе бедренной кости (рис. 5.17), что позволило сориентировать интрамедуллярный стержень в дистальном отделе правой бедренной кости, согласно анатомической оси, что позволило точно восстановить ось бедренной кости (рис. 5.18).

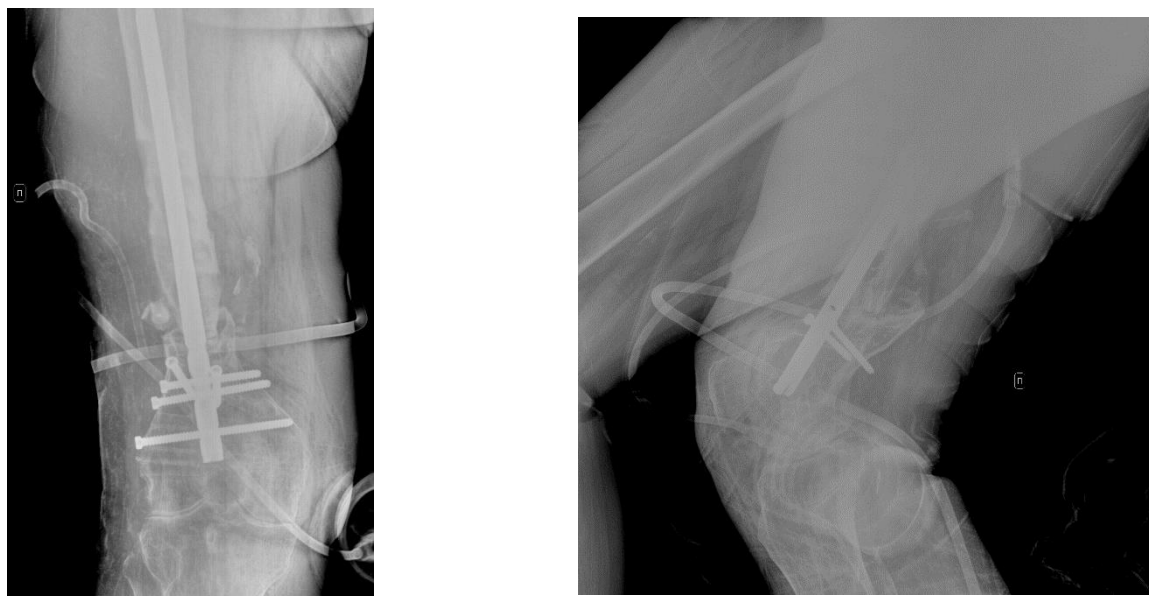


Рис. 5.18. Послеоперационная рентгенограмма правой бедренной кости.

В ходе отработки техники применения устройства-направителя в клинической практике позволило уточнить существенные технические детали. В первую очередь установлено, что наиболее важно для установки универсального направителя является центрация его относительно суставной поверхности коленного сустава. Для реализации этого условия предложена новая форма рамы направителя (рис. 5.19), упрощающая выполнение этой технической детали. За счет параллельного расположения горизонтальной части опоры-ориентира относительно проведенных спиц упрощается центрация самого устройства (рис. 5.20).

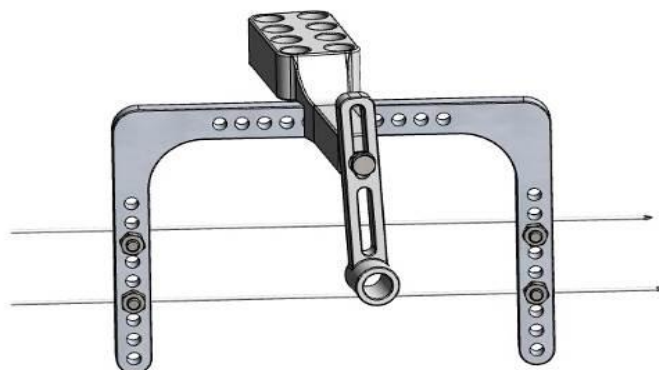


Рис. 5.19. Усовершенствованный вариант направителя с дополнительно изготовленной опорой-ориентира.



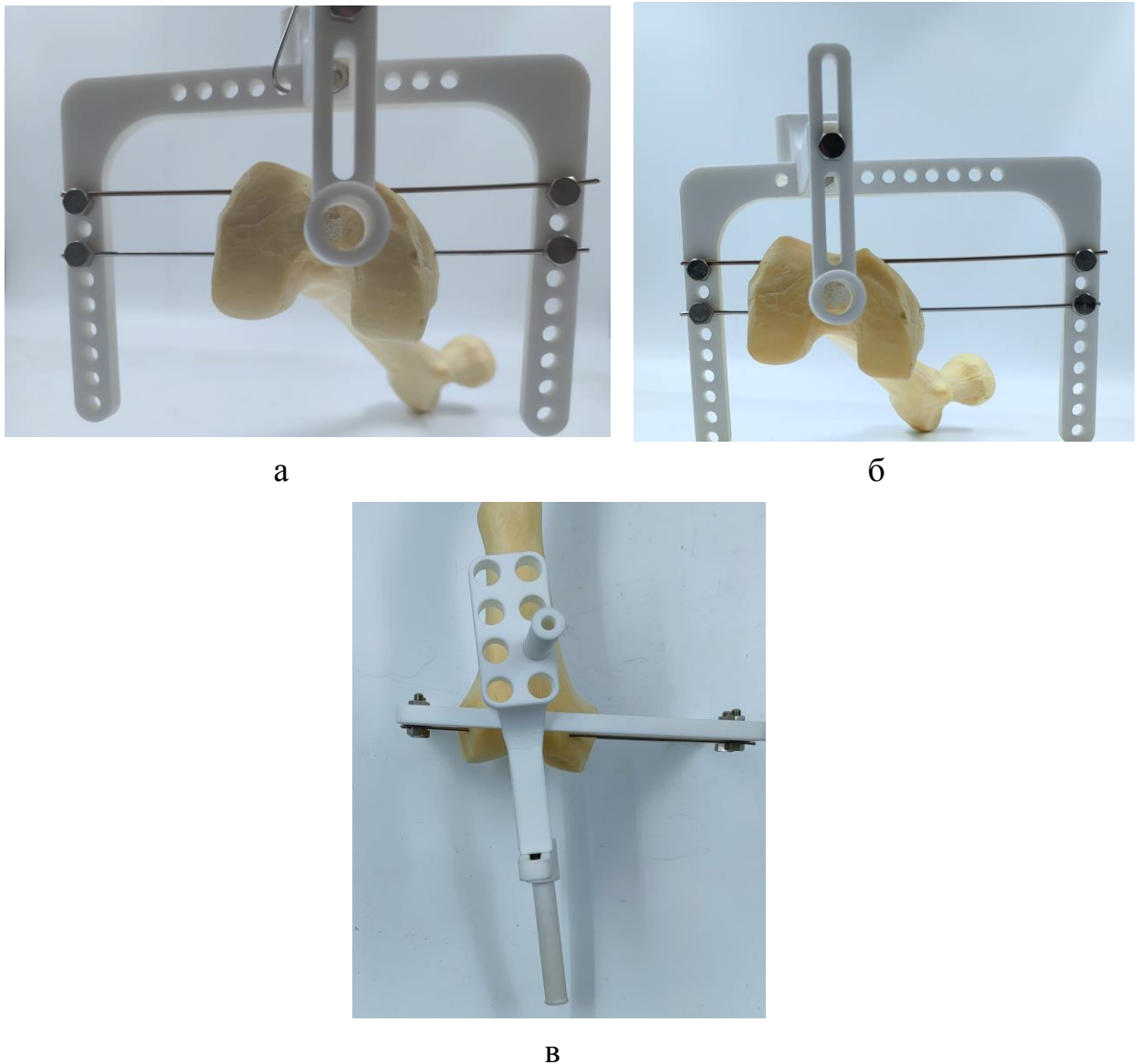


Рис. 5.20. Варианты расположения опоры-ориентира: а — центрированное положение; б — асимметричное положение; в — перемещение устройства направителя относительно асимметрично расположенной опоры-ориентира.

Также для упрощения использования всех возможностей устройства для точного позиционирования токи ввода и проведения ограничивающих винтов нами предложен набор втулок (рис. 5.21) под сверла различных диаметров (2,0; 3,5; 4,0).

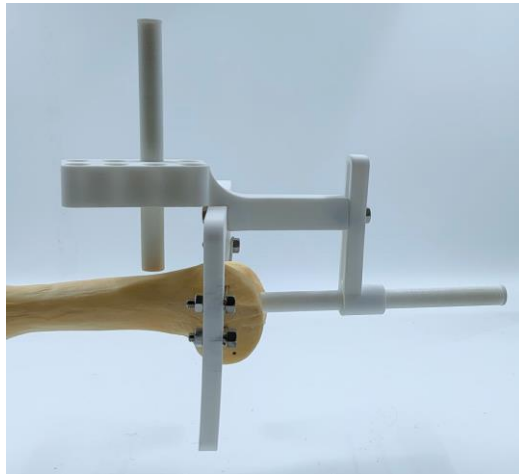


Рис. 5.21. Устройство направитель с дополнительно изготовленными втулками.

### 5.3. Резюме.

В настоящем исследовании была оценена эффективность применения методики удлинения поверх гвоздя в клинической практике и продемонстрирована на примере сравнения двух сопоставимых клинических групп пациентов. Также нами в ходе клинической части исследования выполнена апробация направителя для проведения ограничивающих винтов и формирования точки ввода. В ходе его практического применения, в рамках данной работы, можно сделать вывод о состоятельности устройства такого типа для упрощения выполнения методики УПГ и шире ретроградного остеосинтеза бедренной кости при наличии короткого дистального фрагмента и наличия внесуставной деформации бедренной кости во фронтальной плоскости. На основании предложенного способа удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня (патент РФ на изобретение № 2584555) разработаны дополнительные компоновки комбинированных модулей и применены в клинике. В ходе анализа полученных результатов отмечено снижение индекса консолидации в основной группе на 15,5% для бедра и на 35% для голени по сравнению с показателями в группе сравнения, а периода консолидации снижается на 24% для бедра и на 38% для голени. В ходе проведенной коррекции

длины сегментов нижних конечностей у пациентов обеих групп значение референтных линий и углов попадали в референтный интервал, за исключением пациентов требующих дополнительных этапов лечения (эндопротезирования тазобедренного сустава). В ходе оценки осложнений общее количество осложнений в основной группе было в 2 раза ниже по сравнению с группой сравнения и связано в первую очередь со снижением таких характерных для чрескостного остеосинтеза осложнений как: воспаление в области чрескостных элементов (в 2,4 раза), перелом чрескостных элементов (1,7 раза), контрактуры суставов (3,1 раза). При этом частота такого осложнения, как глубокая инфекция в области хирургического вмешательства в обеих группах встречалась с одинаковой частотой, что показало при сопоставимой доле осложнений у пациентов идентичные результаты лечения с высокой долей отличных и хороших исходов при их оценке по шкале Paley. В ходе оценки функционального результата лечения по шкале LEFS на момент перехода на внутреннюю фиксацию у пациентов основной клинической группы отмечено увеличение среднего количества балльной оценки по сравнению с группой сравнения на сопоставимом сроке, однако в отдаленном периоде функциональные результаты по этой шкале не имеют значимых различий ( $p < 0,05$ ). В ходе анализа результатов опросника SF-36 подтверждено увеличение комфортности лечения пациентов с применением методики УПГ, так как на период перехода на внутреннюю фиксацию у пациентов отмечено повышение показателя психологического компонента здоровья с достоверной разницей в показателях ( $p < 0,05$ ) по сравнению с группой чрескостного остеосинтеза. По итогам проведения клинической части нашего исследования, а также выполнения сравнительного анализа результатов хирургического лечения пациентов можно сказать об успешном решении четвертой и пятой задач исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное диссертационное исследование было проведено с целью выполнить экспериментальные обоснования и оценить в сравнительном плане клиническую эффективность комбинированного чрескостного и интрамедуллярного блокированного остеосинтеза с традиционной методикой по Илизарову при удлинении бедра и голени. Актуальность данной проблематики обусловлена довольно высокой частотой встречаемости неравенства длин нижних конечностей в ортопедической практике. Довольно широко внедряемые в клиническую практику при лечении пациентов с укорочениями комбинированные методики удлинения недостаточно обоснованы экспериментальными исследованиями с точки зрения особенностей дистракционного остеогенеза. Согласно заявленной цели исследования были спланированы части исследования, включающие экспериментальную работу на лабораторных животных, биомеханические эксперименты и сравнительное клиническое исследования, объединенные одной указанной выше целью. Для достижения этой цели были сформулированы пять задач, которые последовательно решались в ходе проведения диссертационного исследования.

Для решения первой задачи в экспериментальной части исследования было проведено изучение формирования дистракционного остеогенеза при различных вариантах комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза на мелких лабораторных животных (кроликах). В ходе реализации данной задачи была разработана и апробирована экспериментальная модель, повторяющая методику удлинение поверх гвоздя с сохранением аппарата в фазе фиксации как имитации блокирования. Сравнение формирования регенерата проводилось с экспериментальной моделью в которой выполнялся полный переход на внутреннюю фиксацию максимально приближая её к реализации методики в клинической практике. Для применения на лабораторных животных (кроликах) нами использовался метод интрамедуллярного армирования (Попков А.В. с соавт.

2006) 2-х интрамедуллярных спиц диаметром 1,2 мм, которые полностью заполняли канал большеберцовой кости кролика в самом тонком месте. Блокирование выполняли вбиванием свободных концов спиц в метафизы большеберцовой кости кролика проксимально и дистально. Полученные при отработке экспериментальной модели регенераты сравнивали между собой. В ходе выполнения апробации модели, предложенный способ имитации блокирования в виде четырех спиц в АВФ, имел большую стабильность, не было случаев потери длины регенерата в отличие от сравниваемой группы. Так же предложенная экспериментальная модель отличается более проста в исполнении, имеет меньшую продолжительность, легко воспроизводима. Повторная операция при сохранении аппарата как имитации блокирования имеет минимальную длительность и меньшую травматичность по сравнению с аналогичными. При гистологической оценке полученных в ходе отработки модели регенератов отличий морфологической структуре и при рентгенологической оценке костной плотности между группами не выявлено. Таким образом для более простой реализации модели комбинированного использования интрамедуллярного и чрескостного остеосинтеза может быть рекомендована разработанная модель.

Для решения второй задачи были проведены исследования на лабораторных животных (кроликах), разделенных на 2 группы по 18 животных: группа УПГ (согласно разработанной модели) и группа удлинение по Илизарову. В ходе сравнительного рентгенологического и морфологического исследования полученных в обеих группах костных регенератов установлено, что к окончанию периода фиксации (45 сутки эксперимента) в обеих группах формировались полноценные кортикальные пластинки с участками компактизации костной ткани в кортикальные пластинки (что соответствует органотипической перестройке регенерата). Рентгенологически и морфологически в обеих группах отмечены эндостальный и периостальный остеогенез, отмечено восстановление структур костного мозга, даже в группе и интрамедуллярным фиксатором (кроме зоны, занимаемой интрамедуллярным имплантом). Однако выраженности этих процессов в группах отличаются. При удлинении по Илизарову кортикальные

пластинки формируются преимущественно за счет интермедиарной и эндостальной области регенерата. Периостальный компонент при этом менее выражен. Подобная картина соответствует данным экспериментальных исследований, опубликованных ранее (Илизаров Г.А. с соавт., 1975; Лаврищева Г.И. с соавт., 1981; Ирьянов Ю.М. с соавт., 2007; Ерофеев С.А., 2014; 1996; Борзунов Д.Ю., 2016; Горбач Е.Н, 2017; Morgan E.F. et al., 2012). В группе УПГ отмечалась активация периостального костеобразования за счет которого и происходит формирование кортикальных пластинок, что подтверждается трудами других исследователей (Li G. et al., 1999; Степанов М.А. с соавт., 2010; Wendelburg K.M. et al., 2011; Еманов А.А. с со-авт., 2013). Рентгенологически к периоду окончания эксперимента в обеих группах формировались полноценные кортикальные пластинки соответствующей по костной плотности интактной костной ткани. Таким образом на основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что на одинаковых сроках фиксации при комбинированном применении интрамедуллярного остеосинтеза могут быть получены регенераты такой же костной плотности, как и при удлинении по Илизарову, методика УПГ не оказывает негативного влияния на процессы костной регенерации.

Для решения третьей задачи были выполнены стендовые исследования жесткости остеосинтеза различных компоновок аппаратов, комбинированных с интрамедуллярным стержнем, для удлинения бедренной кости. Опираясь на ранние исследования Ф.К. Сабирова (2016) по оценки жесткости модулей третьего порядка при остеотомии в средней трети бедренной кости, а также основываясь на способе удлинения бедренной кости поверх интрамедуллярного стержня (патент РФ на изобретение № 2584555), согласно которому оптимальной по жесткости остеосинтеза является компоновка на основе ЭФ, расположенных на расстоянии 10 см под углом  $60^\circ$ , что было нами использовано при разработке компоновок. Были предложены компоновки для реализации методики на бедренной кости как для антеградной так и ретроградной имплантации стержня. Проведено сравнение этих компоновок с использованием стандартных соединительных стержней и их сочетания с экстракортикальными фиксаторами. На основании результатов

стендовых исследований жесткости остеосинтеза для УПГ бедренной кости по результатам проведенных исследований компоновки, использующие только стандартные ЧЭ уступали в жесткости эталонному МЗ во фронтальной плоскости и при моделировании ротационных нагрузок. Все изученные модули третьего порядка в компоновке которых используются экстракортикальные фиксаторы обеспечивают жесткость остеосинтеза не менее эталонного МЗ или превышают его. Наибольшей жесткостью среди них обладали модели для ретроградного интрамедуллярного остеосинтеза, которые превышали жесткость остеосинтеза в сравнении с эталонным МЗ в 1,5–2 раза.

В рамках решения четвертой задачи установлено, что именно модули с использованием экстракортикальных фиксаторов обеспечивают необходимую жесткость и могут быть рекомендованы для реализации методики «удлинения бедренной кости поверх гвоздя», а ретроградные компоновки в этом плане более удобны и обеспечивают наибольшую жесткость, среди модулей с применением только стандартных чрескостных элементов жесткостью сопоставимой с эталонным модулем 3 порядка обладает МЗ-анте-стЧЭ1 и также может быть рекомендован для клинической практики. Также в ходе решения четвертой задачи нами был разработан универсальный направитель для обеспечения точного позиционирования точки ввода интрамедуллярного стержня и ограничивающих винтов, позволяющий точно позиционировать интрамедуллярный стержень по анатомической оси дистального фрагмента бедренной кости. Применение данного устройства показано при наличии посттравматических или врожденных деформаций бедренной кости при стандартном интрамедуллярном остеосинтезе и при реализации методики УПГ для предотвращения вторичных деформаций в ходе дистракции, на что имеются указания в литературе посвященной данной теме (Kim S.J. et al., 2012). Изначально применение предложенного устройства-направителя было отработано на пластиковых костях, сформулирована последовательность действий и отработана техника его применения в клинике. Далее с применением 3D печати выполнен образец направителя, который был успешно апробирован в

клинике при коррекции деформации бедренной кости с использованием стандартного бедренного стержня.

Для решения пятой задачи было проанализировано 59 случаев удлинения сегментов нижних конечностей (в основном ретроспективно) у пациентов с врожденными и приобретёнными укорочениями с применением методики удлинение поверх гвоздя. Для сравнения выбрана преимущественно ретроспективная группа пациентов (80 случаев) пациентов с врожденными и приобретёнными укорочениями, у которых устранение неравенства выполнялось классическим удлинением по Илизарову. Исследования проводились на сроках: до операции, через 1-2 мес. после перехода на внутреннюю фиксацию в группе УПГ или после начала периода фиксации в группе ЧО, через 6 месяцев и 1–2 года после демонтажа аппарата внешней фиксации в группе ЧО или после перехода к полной нагрузке при ходьбе в группе УПГ.

В ходе анализа полученных результатов при использовании УПГ было отмечено уменьшение периода чрескостного остеосинтеза и индекса чрескостного остеосинтеза в 3,7 раза по сравнению с применением только чрескостного остеосинтеза. Также отмечено снижение периода и индекса консолидации в группе УПГ в среднем на 25%.

При рентгенологической оценке полученных результатов отмечено улучшение положения ДМО после удлинения, однако, для бедренной кости важно при применении методики УПГ предоперационное планирование с оценкой отклонения механической оси конечности в ходе удлинения, для исключения вальгусного отклонения механической оси. В качестве вспомогательного инструмента для предотвращения развития данного осложнения рекомендовано использование разработанного универсального направителя.

При анализе осложнений в группе УПГ отмечено снижение частоты всех характерных для чрескостного остеосинтеза: воспалений в области чрескостных элементов в 3 раза, нарушений процессов консолидации в 3 раза, формирования контрактур суставов и подвывихов в 4 раза. Убедительного повышения риска глубокой инфекции при УПГ не отмечено (показатели были сопоставимы).



В ходе оценки субъективных шкал, было показано, что методика УПГ имеет ряд преимуществ перед удлинением с использованием только чрескостного остеосинтеза: снижение ряда осложнений и улучшение комфортности лечения для пациента за счет сокращения периода чрескостного остеосинтеза. Что наиболее отчетливо видно при оценке психического компонента здоровья по шкале SF-36. На сроке 1–2 месяца после перехода на внутреннюю фиксацию. В отдаленные сроки исследования различий между группами по функциональным шкалам нивелируются в целом выходя на схожий уровень.

В целом, можно констатировать, что выполненное комплексное диссертационное исследование, включавшее экспериментальную, биомеханическую, и клиническую части, позволило решить все поставленные задачи и, благодаря этому, реализовать его цель, таким образом, доказать клиническую эффективность применения методики «удлинение поверх гвоздя».

Сделанные по итогам выполненной работы выводы и практические рекомендации представлены далее в двух следующих разделах диссертационного исследования.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанная модель для изучения в эксперименте комбинированного применения чрескостного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза, предполагающая имитацию блокирования интрамедуллярного стержня, обеспечивает надежную фиксацию без потери длины регенерата, технически проста и легко воспроизводима, что обеспечивает возможность стандартизованного проведения соответствующих экспериментов в достаточно больших группах таких мелких имбредных животных как кролики.

2. Экспериментальные исследования показали, что применение комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза при удлинении длинных костей не приводит к дефициту формирования кортикального слоя регенерата за счет стимуляции периостального костеобразования. Варьирование плотности костной ткани сформированного кортикального слоя по данным КТ не отличается между группами УПГ и классического удлинения по Илизарову и достигает  $1518,5 \pm 194,5$  и  $1326,8 \pm 686,7$  HU ( $p > 0,05$ ) в группах соответственно.

3. Разработанные компоновки аппаратов для методики УПГ обеспечивают жесткость остеосинтеза не менее эталонного модуля 3-го порядка и превышают его в оптимальных компоновках по продольной жесткости до 2-х раз. Наиболее оптимальны для практического применения компоновки с использованием экстракортикальных фиксаторов, которые в 1,5 раза превышают значения жесткости компоновок с использованием только стандартных ЧЭ, за исключением жесткости в продольной плоскости, в которой все компоновки показали близкие значения. Компоновки с использованием ЭФ при ретроградном остеосинтезе имеют большую жесткость фиксации костных отломков по сравнению с антеградными.

4. Разработанный направитель позволяет упростить выполнение методики удлинение поверх гвоздя при наличии деформации бедренной кости для ретроградной установки интрамедуллярного стержня за счет точного

позиционирования ограничивающих винтов вдоль анатомической оси дистального фрагмента. Наличие дополнительного консольного направителя позволяет точно позиционировать точку ввода стержня.

5. Сокращение периода чрескостного остеосинтеза при методике УПГ благоприятно сказывается на снижении характерных для чрескостного остеосинтеза осложнений: воспаления в области чрескостных элементов, перелома чрескостных элементов, формирования контрактур смежных суставов, суммарно количество осложнений снижается в 2 раза ( $p \leq 0,05$ ) при сокращении ПЧО в 3,7 раза. В то же время количество инфекционных осложнений около ЧЭ в 2,2 раза меньше, контрактур суставов в 3 раза меньше, чем в группе чрескостного остеосинтеза, при сравнимых показателях риска глубокой инфекции (около 5% в обеих группах).

6. Повышение комфортности лечения пациентов в период фиксации подтверждается показателями оценки качества жизни и функциональных шкал. Общий психологический компонент здоровья и значения функционирования по опроснику LEFS в период перехода на внутреннюю фиксацию при удлинении на интрамедуллярном стержне превышали ( $57,1 \pm 1,7$  и  $44,8 \pm 1,0$  баллов соответственно) аналогичные значения по сравнению с фазой фиксации при удлинении по Илизарову ( $45,0 \pm 1,0$  и  $37,8 \pm 0,55$  баллов) ( $p < 0,05$ ). При этом среднесрочные результаты не показывают разницы данных показателей ( $p < 0,05$ ).

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанная модель с имитацией блокирования интрамедуллярного фиксатора за счет АВФ может эффективно использоваться в экспериментальных работах для изучения дистракционного регенерата при комбинированном остеосинтезе.

2. При удлинении сегментов нижних конечностей при отсутствии противопоказаний наиболее предпочтительно использование методики «удлинения поверх гвоздя», так как она позволяет сократить период чрескостного остеосинтеза и снизить риски связанных с ним осложнений.

3. Лечением пациентов с укорочением сегментов нижних конечностей методом комбинированного использования чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза должен заниматься специалист, владеющий как аппаратом внешней фиксации, так и умеющий использовать все возможности внутренней фиксации.

4. При планировании операций по удлинению бедренной кости с использованием комбинированной методики применения чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза рекомендовано использовать разработанные компоновки аппаратов с использованием экстракорткальных фиксаторов, при этом при повышенным требованиям к жесткости фиксации отдавать предпочтение компоновкам для ретроградной установки интрамедуллярного фиксатора.

5. С целью упрощения выполнения методики «удлинения поверх гвоздя» при ретроградной установке интрамедуллярного стержня в клинических ситуациях с наличием деформации и короткого дистального фрагмента использование разработанного направителя позволяет точно позиционировать точку ввода и положение интрамедуллярного фиксатора за счет ограничивающих винтов.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АВФ – аппарат внешней фиксации
- ИД – индекс дистракции
- ИК – индекс консолидации
- ИФ – индекс фиксации
- ИЧО – индекс чрескостного остеосинтеза
- КТ – компьютерная томография
- ЛП – латентный период
- МЗ – модуль третьего порядка
- ПД – период дистракции
- ПФ – период фиксации
- ПЧО – период чрескостного остеосинтеза
- УВП – удлинение вдоль пластины
- УЗГ – удлинение затем гвоздь
- УПГ – удлинение поверх гвоздя
- ЭФ – экстракортикальный фиксатор
- ПК – период консолидации
- ЧО – чрескостный остеосинтез
- ЧЭ –чрескостные элементы
- BP – Bodilypain
- GH – General Health
- LEFS – Lower Extremity Functional Scale
- LON – lengthening over the nail
- МН – Mental Health

PF – Physical Functioning

RE – Role-Emotional

RP – Role-Physical Functioning

SF-36 – Short Form 36

SF – Social Functioning

VT – Vitality

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексанин, С.С. Проблемы травматизма и безопасности дорожного движения в России / С.С. Алексанин, С.В. Шпорт // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2020. – № 4. – С. 27–34.
2. Антониади, Ю.В. Оказание специализированной медицинской помощи пациентам с травмой в городском многопрофильном стационаре / Ю.В. Антониади // Уральский медицинский журнал. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 93–96.
3. Аранович, А.М. Ошибки и осложнения при удлинении голени у больных ахондроплазией / А.М. Аранович, Е.В. Диндиберя, О.В. Климов, К.И. Новиков // Травматология и ортопедия России. – 2005. – Т. 34, № 1. – С. 36–37.
4. Артемьев, А.А. Клинико-рентгенологические особенности формирования дистракционного регенерата при удлинении голени по Илизарову / А.А. Артемьев, А.А. Грицюк, Н.И. Нелин [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2018. – № 3 (33). – С. 5–9.
5. Артемьев, А.А. Коррекция формы и длины нижних конечностей в реконструктивной и эстетической хирургии: дис. ... д-ра мед. наук / Артемьев Александр Александрович. – Москва, 2003. – 230 с.
6. Артемьев, А.А. Место эстетической хирургии нижних конечностей в современной ортопедии / А.А. Артемьев, Л.К. Брижань, Д.В. Давыдов [и др.] // Гений ортопедии. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 59–67.
7. Артемьев, А.А. Особенности хирургического лечения посттравматической разной длины нижних конечностей у взрослых пациентов / А.А. Артемьев, А.Н. Ивашкин, А.М. Кашуб [и др.] // Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 573–579.
8. Артемьев, А.А. Укорачивающая резекция и коррекция длины голени при лечении посттравматических дефектов большеберцовой кости, осложненных остеомиелитом / А.А. Артемьев, П.А. Иванов, А.М. Кашуб [и др.] // Неотложная

медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 309–317.

9. А.с. № 98471 СССР (51) МПК А61В 17/58. Способ сращивания костей при переломах и аппарат для осуществления этого способа / Г.А. Илизаров; № 102/17-762/447962: заявл. 09.06.1952: опубл. 01.01.1954. – 2 с.

10. А.с. № 865284 СССР Компрессионно-дистракционный аппарат : № 8268484/28-13; заявл. 11.01.1980 / Илизаров Г.А. и др. ; опубл. : 23.09.1981. – Бюл. № 35.

11. Барабаш, А.П. Ложные суставы / А.П. Барабаш, Ю.А. Барабаш // Ортопедия: национальное руководство / под ред. С.П. Миронова, Г.П. Котельникова. – 2-е изд., перераб и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2013. – Гл. 15. – С. 712–743.

12. Блискунов, А.И. Интрамедуллярная дистракция бедренной кости (предварительное сообщение) / А.И. Блискунов // Ортопедия травматология и протезирование. – 1983. – № 10. – С. 59–62.

13. Гайко, Г.В. Факторы риска развития ложных суставов бедренной кости / Г.В. Гайко, Р.А. Козак // Политравма. – 2012. – № 4. – С. 14–18.

14. Ганиев, А.В. Аутотрансплантация лоскутов при лечении периимплантной инфекции после накостного остеосинтеза (анализ клинических наблюдений) / Р.Р. Ганиев, А.В. Неведров, Р.И. Валиева [и др.] // Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. – 2021. – Т. 10, № 3. – С. 575-581.

15. Говоров, М.В. Анализ типичных повреждений у различных групп пострадавших с тяжелой сочетанной травмой / М.В. Говоров, В.В. Мамонтов, В.В. Говоров [и др.] // Скорая медицинская помощь. – 2017. – Т. 18, № 4. – С. 15–21.

16. Горбач, Е.Н. Внутрикостная гемодинамика большеберцовой кости при автоматическом удлинении голени с темпом 3 мм в сутки за 120 приемов / Е.Н. Горбач, Н.А. Кононович // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2017. – Т. 103, № 11. – С. 1303–1314.



17. Горбач, Е.Н. Изучение динамики костеобразования, состояния суставного хряща и большеберцового нерва при повышенном темпе удлинения голени автодистрактором в эксперименте / Е.Н. Горбач, Т.А. Ступина, Т.Н. Варсегова, А.А. Еманов // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 7. – С. 42–47.
18. Гореванов, Э.А. Ошибки и осложнения при билочальном моносегментарном дистракционном остеосинтезе врожденно укороченной голени / Э.А. Гореванов, Д.А. Попков, С.О. Мурадисинов, О.В. Колчев // Гений ортопедии. – 2003. – № 3. – С. 33–38.
19. Гореванов, Э.А. Рентгенологическая динамика регенерации костной ткани при моносегментарном билочальном удлинении голени у детей и подростков с врожденным укорочением нижних конечностей / Э.А. Гореванов, С.О. Мурадисинов, О.В. Колчев, О.В. Климов // Гений ортопедии. – 2003. – № 4. – С. 15-20.
20. Губин, А.В. Проблемы организации лечения больных хроническим остеомиелитом и пути их решения на примере создания клиники гнойной остеологии / А.В. Губин, Н.М. Ключин // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 140–148.
21. Губин, А.В. Философия Илизарова как основа новой субспециальности в ортопедии-травматологии / А.В. Губин // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 4. – С. 449–451.
22. Дьячков, К.А. Современные методы изучения дистракционного регенерата с применением лучевой диагностики / К.А. Дьячков, А.В. Губин, А.Ю. Васильев [и др.] // Лучевая диагностика и терапия. – 2019. – № 3. – С. 14–21.
23. Еманов, А.А. Замещение дефект-псевдоартрозов длинных костей в условиях комбинированного остеосинтеза (экспериментальное исследование) / А.А. Еманов, А.И. Митрофанов, Д.Ю. Борзунов // Гений ортопедии. – 2013. – № 3. – С. 43-47.
24. Еманов, А.А. Экспериментально-клиническое обоснование комбинированного остеосинтеза при замещении дефектов длинных костей

(предварительное сообщение) / А.А. Еманов, А.И. Митрофанов, Д.Ю. Борзунов, С.Н. Колчин // Травматология и ортопедия России. – 2014. – № 1. – С. 16-23.

25. Ерофеев, С.А. Значение дробности distraction при удлинении конечности по Илизарову (экспериментальное исследование): специальность 14.00.22: автореф. дис. ... канд. мед. наук / Ерофеев Сергей Александрович. – Пермь, 1994. – 23 с.

26. Ерофеев, С.А. Особенности репаративного остеогенеза и управление distractionным остеогенезом при чрескостном остеосинтезе / С.А. Ерофеев // Основы чрескостного остеосинтеза : в 3-х т. / под. ред. Л.Н. Соломина. – Москва : БИНОМ, 2014. – Т. 1, гл. 1.12. – С. 220–250.

27. Ерохин, А.Н. Профилактика гиперtractionных нейропатий у больных при чрескостном distractionным остеосинтезе / А.Н. Ерохин, М.С. Сайфутдинов // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2013. – № 7. – С. 52–54.

28. Жунусов, Е.Т. Исходы лечения больных с открытыми переломами длинных костей / Е.Т. Жунусов // Гений ортопедии. – 2005. – № 3. – С. 15–19.

29. Затона, Д.Б. Оперативная коррекция длины бедренного сегмента при аномалии его развития у детей и подростков: специальность 14.00.22 : автореф. дис. ... канд. мед. наук / Затона Денис Борисович. – Москва, 2008. – 27 с.

30. Иванов, П.А. Современные подходы к лечению открытых переломов костей конечностей у пострадавших с политравмой. Кремлевская медицина / П.А. Иванов, Е.Ю. Шibaев, А.В. Неведров, В.О. Каленский // Клинический вестник. – 2013. – № 2. – С. 113–118.

31. Илизаров, Г.А. Влияние напряжения растяжения на биомеханические свойства мышц, их кровоснабжение и рост голени / Г.А. Илизаров, В.А. Щуров // Физиология человека. – 1988. – Т. 14, № 1. – С. 26–32.

32. Илизаров, Г.А. Клинические и теоретические аспекты компрессионного и distractionного остеосинтеза / Г.А. Илизаров // Теоретические и практические аспекты чрескостного компрессионного остеосинтеза: тезисы докладов всесоюзной научно-практической конференции. – Курган, 1977. – С. 10–24.

33. Илизаров, Г.А. Кровеносные сосуды при разных режимах distraction (экспериментальное исследование) / Г.А. Илизаров, А.Б. Кузнецова, В.С. Песчанский [и др.] // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. – 1984. – Т. 86, № 5. – С. 49–55.
34. Илизаров, Г.А. Зависимость репаративной регенерации кости и функционального состояния удлиняемой конечности от дробности distraction / Г.А. Илизаров, С.А. Ерофеев, А.А. Шрейнер и др. // Гений ортопедии. – 1995. – № 1. – С. 8–18.
35. Илизаров, Г.А. Оперативное удлинение голени / Г.А. Илизаров, А.А. Девятов // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1971. – № 8. – С. 20–25.
36. Илизаров, Г.А. Основные принципы чрескостного компрессионного и distractionного остеосинтеза / Г.А. Илизаров // Травматология, ортопедия и протезирование. – 1971. – № 11. – С. 7–15.
37. Илизаров, Г.А. Репаративная регенерация костной ткани при замещении дефектов длинных трубчатых костей удлинением одного из фрагментов (экспериментальное исследование) / Г.А. Илизаров, А.М. Хелимский, А.А. Девятов [и др.] // Экспериментальная хирургия и анестезиология. – 1975. – № 2. – С. 37–42.
38. Илизаров, Г.А. Новый метод закрытой флексионной остеотомии (экспериментальное исследование) / Г.А. Илизаров, А.А. Шрейнер // Ортопедия, травматология, протезирование. – 1979. – № 1. – С. 9–18.
39. Илизаров, Г.А. Особенности остеогенеза в условиях напряженного растяжения / Г.А. Илизаров, Ю.М. Ирьянов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1991. – № 2. – С. 194–196.
40. Ирьянов, Ю.М. Количественная оценка кровоснабжения периоста диафиза большеберцовой кости собаки при удлинении голени методом distractionного остеосинтеза / Ю.М. Ирьянов, Е.Н. Горбач, Н.В. Петровская // Морфологические ведомости. – 2007. – № 1–2. – С. 57–60.

41. Каленский, В.О. Способы лечения посттравматических дефектов длинных костей конечностей / В.О. Каленский, П.А. Иванов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2013. – № 3. – С. 81–87.
42. Колчин, С.Н. Комбинированный интрамедуллярный и чрескостный остеосинтез в практике замещения дефектов длинных трубчатых костей (клинико-экспериментальное исследование) / С.Н. Колчин, А.А. Еманов, Д.Ю. Борзунов, Д.С. Моховиков // Достижения российской травматологии и ортопедии : материалы XI всероссийского съезда травматологов-ортопедов: в 3-х т. – Санкт-Петербург, 2018. – Т. 1. – С. 157–160.
43. Колчин, С.Н. Конверсивное и комбинированное использование чрескостного и интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза при лечении пациентов с дефект-псевдоартрозами диафиза бедренной кости / С.Н. Колчин // Гений ортопедии. – 2015. – № 3. – С. 87–89.
44. Кривенко, С.Н. Лечение скелетных повреждений при высокоэнергетической травме / С.Н. Кривенко, А.М. Гребенюк, С.В. Попов // Травма. – 2014. – Т. 15, № 2. – С. 117–120.
45. Кулеш, П.Н. Коррекция формы ног по эстетическим показаниям (обзор литературы) / П.Н. Кулеш, Л.Н. Соломин // Гений ортопедии. – 2013. – № 2. – С. 117–123.
46. Куценко, С.Н. Особенности формирования дистракционного регенерата при удлинении конечности интрамедуллярными дистракторами по данным цифровой рентгенографии / С.Н. Куценко, В.А. Черноротов, Д.А. Баркетова // Лучевая диагностика и терапия. – 2017. – № 3(8). – С. 58.
47. Куценко, С.Н. Интрамедуллярный дистракционный остеосинтез – современный реконструктивно-восстановительный метод хирургического лечения заболеваний опорно-двигательной системы / С.Н. Куценко // Таврический медико-биологический вестник. – 2009. – Т. 12, № 4. – С. 107–112.
48. Лаврищева, Г.И. К гистогенезу скелетогенной ткани при регенерации кости в условиях дистракции / Г.И. Лаврищева, Л.И. Михайлова // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1985. – Т. 99, № 2. – С. 198–201.

49. Лаврищева, Г.И. Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей / Г.И. Лаврищева, Г.А. Оноприенко. – Москва : Медицина, 1996. – 208 с.
50. Ланцов, В.В. Удлинение бедренной кости у подростков при приобретённом одностороннем укорочении с применением блокируемого гвоздя / В.В. Ланцов, В.П. Волошин // Клиническая медицина. Естественные и технические науки. – 2018. – № 12. – С. 144–151.
51. Малахов, О.А. Неравенство длины нижних конечностей у детей: (клиническая картина, диагностика, лечение): руководство для врачей / О.А. Малахов, О.В. Кожевников. – Москва : Медицина, 2008. – 352 с.
52. Меркулов, В.Н. Лечение посттравматических деформаций и укорочения конечностей у детей и подростков / В.Н. Меркулов, М.Б. Цыкунов, А.И. Дорохин // Вестник РГМУ. – 2009. – № 5. – С. 25–28.
53. Мингазов, Э.Р. Первый опыт применения титанового телескопического стержня при коррекции деформаций конечностей у детей с несовершенным остеогенезом / Э.Р. Мингазов, Ф.Ф. Гофман, А.В. Попков [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 297–303.
54. Миронов, С.П. Динамика травматизма среди взрослого населения Российской Федерации / С.П. Миронов, Н.А. Еськин, Т.М. Андреева [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2019. – № 3. – С. 5–13.
55. Назаров, В.А. Биомеханические основы модульной компоновки аппаратов для чрескостного остеосинтеза длинных трубчатых костей (экспериментально-клиническое исследование): автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.22 / Назаров Владимир Анатольевич. – Санкт-Петербург, 2005. – 24 с.
56. Научное открытие: Общебиологическое свойство тканей отвечать на дозированное растяжение ростом и регенерацией (эффект Илизарова) / Г.А. Илизаров. – Диплом ОТ No 355 (СССР) No 11271; Заявл. 25.12.1985; Зарег. 15 сентября 1988; Оpubл. 23.04.1989 // Бюллетень "Открытия. Изобретения". – 1989. – N 15. (Приоритет от 24.09.1970).

57. Нелин, Н.И. Хирургическое лечение и профилактика ортопедических осложнений тяжелых травм бедра и голени: автореф. дис. д-ра мед. наук / Нелин Николай Иванович. – Москва, 2010. – 37 с.

58. Никитюк, И.Е. Особенности нарушения баланса тела у детей с односторонним укорочением нижней конечности / И.Е. Никитюк, Е.Л. Кононова, Ю.Е. Гаркавенко // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 45–54.

59. Патент РФ № 87618 U1, МПК А61В 19/00, А61В 17/66. Экстракорткальный фиксатор Орто-СУВ: № 2009118782/22 : заявл. 18.05.2009: опубл. 20.10.2009 / Соломин Л.Н., Утехин А.И., Виленский В.А.; заявитель и патентообладатель ООО "Орто-СУВ".

60. Поздеев, А.П. Сочетание дистракционного остеосинтеза и костной пластики при лечении детей с врожденным укорочением нижних конечностей / А.П. Поздеев, Э.В. Бухарев // Травматология и ортопедия России. – 2010. – № 3. – С. 61–67.

61. Попков, А.В. Врожденное укорочение конечностей у детей / А.В. Попков. – Челябинск : РНЦ "ВТО" им. акад. Г. А. Илизарова, 2011. – 510 с.

62. Попков, Д.А. Костеобразование при удлинении голени с использованием интрамедуллярного напряженного армирования (экспериментальное исследование) / Д.А. Попков, С.А. Ерофеев, А.М. Чиркова // Морфофункциональные аспекты регенерации и адаптационной дифференцировки структурных компонентов опорно-двигательного аппарата в условиях механических воздействий: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Курган, 2004. – С. 226–227.

63. Попков, А.В. Некоторые биомеханические условия билокального дистракционного остеосинтеза / А.В. Попков, Э.А. Гореванов, С.А. Аборин // Гений ортопедии. – 2000. – № 4. – С. 19–23.

64. Попков, А.В. Ошибки и осложнения при оперативном удлинении нижних конечностей методом Илизарова у взрослых / А.В. Попков // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. – 1991. – Т. 146, № 1. – С. 113–116.

65. Попков, А.В. Применение имплантатов с биоактивным покрытием при удлинении врожденно укороченного бедра / А.В. Попков, Д.А. Попков, С.И. Твердохлебов, В. П. Игнатов // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1-4. – С. 588–593.
66. Попков, А.В. Экспериментальные и клинические исследования по сокращению сроков удлинения костей в Центре Илизарова / А.В. Попков, , Д.А. Попков, Е.Н. Горбач, Н.А. Кононович, А.А. Антонов // Гений ортопедии – 2022– Т. 28, №4 – С. 584–591.
67. Попков, Д.А. Несовершенный остеогенез: роль и место ортопедической хирургии нижних конечностей / Д.А. Попков, Э.Р. Мингазов, А.В. Губин [и др.] // Гений ортопедии. – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 461–467.
68. Попова, Л.А. Обращаемость населения СССР с заболеваниями опорно-двигательной системы в поликлинику ВКНЦ «ВТО» и задачи ортопедотравматологической службы в организации специализированной помощи этим больным / Л.А. Попова, Г.В. Дьячкова // Медико-биологические и медико-инженерные проблемы чрескостного остеосинтеза по Илизарову : сб. науч. работ – Вып. 14 – Курган, 1989. – С. 63–71.
69. Реутов, А.И. Сравнительная характеристика методов моно- и билочального дистракционного остеосинтеза по Г.А. Илизарову (экспериментальное исследование) / А.И. Реутов // Гений ортопедии. – 2002. – № 3. – С. 108–115.
70. Сабиров, Ф.К. Исследование жесткости модулей первого и второго порядка, скомпонованных с использованием экстракортикальных фиксаторов / Ф.К. Сабиров, Л.Н. Соломин // Травматология и ортопедия России. – 2015. – № 1. – С. 58–65.
71. Сабиров, Ф.К. Использование экстракортикальных фиксаторов при чрескостном остеосинтезе бедренной кости (экспериментально-клиническое исследование): специальность 14.01.15: дис. ... канд. мед. наук / Сабиров Фаниль Камилжанович. – Санкт-Петербург, 2016. – 142 с.

72. Селицкий, А.В. Современные аспекты лечения сложных сегментарных и многооскольчатых диафизарных переломов большеберцовой кости (обзор литературы) / А.В. Селицкий, О.П. Кезля // Экстренная медицина. – 2015. – № 4(16). – С. 103–111.
73. Сидоренко, В.А. Основные принципы профилактики гнойных осложнений, связанных с использованием внешнего остеосинтеза на голени / В.А. Сидоренко, В.Ф. Зубрицкий, А.Б. Земляной и др. // Медицинский вестник МВД. – 2014. – № 6. – С. 73.
74. Смагулов, Д.Е. Анализ травматизма по данным города Павлодар с 2017 по 2019 гг. / Д.Е. Смагулов, А.С. Тлемисов // The Scientific Heritage. – 2021. – № 59-2(59). – С. 57–59.
75. Солдатов, Ю.П. Аппарат внешней фиксации конструкции Г.А. Илизарова. Часть 1. Оценка клинической эффективности и безопасности (обзор литературы) / Ю.П. Солдатов, М.В. Стогов, Е.Н. Овчинников [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 4. – С. 588–599.
76. Соломин, Л.Н. Атлас позиций для проведения чрескостных элементов / Л.Н. Соломин // Основы чрескостного остеосинтеза: в 3-х т. / под. ред. Л.Н. Соломина. – Москва: Издательство БИНОМ, 2014. – Т.1, гл. 1.9. – С. 220–250.
77. Соломин Л.Н. Ошибки и осложнения при внешней фиксации / Л.Н. Соломин, S.A. Green // Основы чрескостного остеосинтеза: в 3-х т. / под. ред. Л.Н. Соломина. – Москва : Издательство БИНОМ, 2015. – Т.3, гл. 2.25. – С. 1441–1455.
78. Соломин, Л.Н. Осложнения, связанные с применением экстракостальных фиксаторов при комбинированном и последовательном использовании чрескостного остеосинтеза и внутренней фиксации бедренной кости / Л.Н. Соломин, Ф.К. Сабиров // Травматология и ортопедия России. – 2015. – № 4. – С. 103–110.
79. Степанов, М.А. Репаративная регенерация костной ткани при удлинении конечности методикой комбинированного дистракционного остеосинтеза / М.А. Степанов, Н.А. Кононович, Е.Н. Горбач // Гений ортопедии. – 2010. – № 3. – С. 89–94.



80. Степанов, М.А. Экспериментальное обоснование комбинированного дистракционного остеосинтеза накостной пластиной и аппаратом Илизарова / М.А. Степанов, Н.И. Антонов, Д.Ю. Борзунов // Гений ортопедии. – 2016. – № 4. – С. 71–75.

81. Фаттахов, Т. Дорожно-транспортный травматизм в России и факторы его возникновения / Т. Фаттахов // Аист на крыше. Демографический журнал. – 2017. – № 5. – С. 30–39.

82. Хоминец, В.В. Лечение раненых в конечности в войнах и вооруженных конфликтах: монография / В.В. Хоминец, В.М. Шаповалов, С. В. Михайлов, Л.К. Брижань. – Санкт-Петербург : Историческая иллюстрация, 2021. – 304 с

83. Цискарашвили, А.В. Биомеханически обоснованный чрескостный остеосинтез у пациентов с ложными суставами бедренной кости, осложненными хроническим остеомиелитом / А.В. Цискарашвили, А.В. Жадин, К.А. Кузьменков [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2018. – № 3–4. – С. 71–78.

84. Челноков, А.Н. Последовательное использование чрескостного и блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза (АЗГ) / А.Н. Челноков, Л.Н. Соломин // Основы чрескостного остеосинтеза: в 3-х т. / под ред. Л.Н. Соломина. – Москва : БИНОМ, 2015. – Т. 3, гл. 2.18.3. – С. 1323–1342.

85. Шаповалов, В.М. Комбинированный способ восстановления длины бедра и голени при лечении больных с последствиями травм и дефектами развития / В.М. Шаповалов, В.В. Хоминец, С.В. Михайлов [и др.] // Гений ортопедии. – 2010. – № 1. – С. 116–121.

86. Шаповалов, В.М. Руководство по реабилитации раненых в конечности в военном санатории / В.М. Шаповалов, А.И. Грицанов, А.Н. Костин [и др.]. – Москва: Главное военно-медицинское управление, 1999. – 179 с.

87. Шаповалов, В.М. Формирование концепции восстановительного лечения раненных в конечности / В.М. Шаповалов, А.И. Грицанов, С.А. Лытаев, С.Б. Шевченко // Проблемы реабилитации. – 1999. – № 1. – С. 23–28.

88. Шевцов, В.И. Осложнения при удлинении бедра в высокодетальном автоматическом режиме / В.И. Шевцов, А.В. Попков, Д.А. Попков // Гений ортопедии. – 1997. – № 4. – С. 24–27.
89. Шевцов, В.И. Оперативное удлинение нижних конечностей / В.И. Шевцов, А.В. Попков. – Москва : Медицина, 1998. – 189 с.
90. Шевцов, В.И. Применение интрамедуллярного армирования при удлинении конечностей и коррекции деформации / В.И. Шевцов [и др.] // Морфофункциональные аспекты регенерации и адаптационной дифференцировки структурных компонентов опорнодвигательного аппарата в условиях механических воздействий : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Курган, 2004. – С. 365–366.
91. Шевцов, В.И. Стимуляция distractionного остеогенеза при удлинении конечностей: наша концепция / В.И. Шевцов, С.С. Леончук // Травматология и ортопедия России. – 2021. – Т. 27, № 1. – С. 75–85.
92. Щепкина, Е.А. Обоснование применения ортопедического гексапода при удлинении бедренной кости "поверх" интрамедуллярного стержня / Е.А. Щепкина, Л.Н. Соломин, О.И. Саута, Ф.К. Сабиров // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2021. – № 3(45). – С. 27–36.
93. Щуров, В.А. Влияние длительности периода фиксации на уровень восстановления сократительной способности мышц / В.А. Щуров, Л.Ю. Горбачева, О.В. Колчева [и др.] // Травматология и ортопедия России. – 2006. – № 4. – С. 34–37.
94. Щуров, В.А. Показатели физического и психического здоровья больных при оперативном удлинении конечности / В.А. Щуров, А.В. Попков, И.К. Новиков, С.О. Мурадисинов // Национальная ассоциация ученых. – 2017. – № 6. – С. 17–20.
95. Abbott, L.C. Lengthening of the lower extremities / L.C. Abbott // Calif. West Med. – 1932. – Vol. 36, N 1. – P. 6–13.
96. Angelini, A. Limb lengthening for deformities in Ollier's disease: a systematic review / A. Angelini, Baracco R., Dolci A. [et al.] // Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol. – 2020. – Vol. 30, N 8. – P. 1325–1332.

97. Baumgart, R. A fully implantable motorized intramedullary nail for limb lengthening and bone transport / R. Baumgart, A. Betz, L. Schweiberer // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1997. – N 343. – P. 135–143.
98. Baumgart, R. The reverse planning method for lengthening of the lower limb using a straight intramedullary nail with or without deformity correction. A new method / R. Baumgart // *Oper. Orthop. Traumatol.* – 2009. – Vol. 21, N 2. – P. 221–233.
99. Betsch, M. The effect of simulating leg length inequality on spinal posture and pelvic position: a dynamic rasterstereographic analysis / M. Betsch, M. Wild, B. Große [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2012. – Vol. 21, N 4. – P. 691–697.
100. Bhave, A. Muscle strength and knee range of motion after femoral lengthening 2- to 5-year follow-up / A. Bhave, L. Shabtai, E. Woelber [et al.] // *Acta Orthop.* – 2017. – Vol. 88, N 2. – P. 179–184.
101. Birch, J.G. A Brief History of Limb Lengthening / J.G. Birch // *J. Pediatr. Orthop.* – 2017. – Vol. 37, Suppl. 2. – P. S1–S8.
102. Bost, F.C. Experience with lengthening of the femur over an intramedullary rod / F.C. Bost, L.S. Larsen // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1956. – Vol. 38. – P. 567–584.
103. Brady, R.J. Limb length inequality: clinical implications for assessment and intervention / R.J. Brady, J.B. Dean, T.M. Skinner, M.T. Gross // *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* – 2003. – Vol. 33. – P. 221–234.
104. Bragdon, B. Overview of biological mechanisms and applications of three murine models of bone repair: closed fracture with intramedullary fixation, distraction osteogenesis, and marrow ablation by reaming / B. Bragdon, K. Lybrand, L. Gerstenfeld // *Curr. Protoc. Mouse Biol.* – 2015. – Vol. 5, N 1. – P. 21–34.
105. Brutscher, R. The role of corticotomy and osteotomy in the treatment of bone defects using the Ilizarov technique / R. Brutscher, B.A. Rahn, A. Rüter, S.M. Perren // *J. Orthop. Trauma.* – 1993. – Vol. 7, N 3. – P. 261–269.
106. Burghardt, R.D. Mechanical failure of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor in limb lengthening / R.D. Burghardt, J.E. Herzenberg, S.C. Specht, D. Paley // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 2011. – Vol. 93. – P. 639–643.

107. Burghardt, R.D. Tibial lengthening over intramedullary nails a matched case comparison with Ilizarov tibial lengthening / R.D. Burghardt, A. Manzotti, A. Bhave [et al.] // *Bone Joint Res.* – 2016. – Vol. 5. – P. 1–10.
108. Chaudhary, M. Limb lengthening over a nail can safely reduce the duration of external fixation / M. Chaudhary // *Indian J. Orthop.* – 2008. – Vol. 42, N 3. – P. 323–329.
109. Clasper, J.C. Spread of infection, in an animal model, after intramedullary nailing of an infected external fixator pin track / J.C. Clasper, S.A. Stapley, D.M. Bowley [et al.] // *J. Orthop. Res.* – 2001. – Vol. 19, N 1. – P. 155–159.
110. Codivilla, A. The classic: On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. 1905 / A. Codivilla // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2008. – Vol. 466, N 12. – P. 2903–2909.
111. Cole, J.D. The intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD) first clinical results of a new intramedullary nail for lengthening of the femur and tibia / J.D. Cole, D. Justin, T. Kasparis [et al.] // *Injury.* – 2001. – Vol. 32, suppl 4. – P. SD129–SD139.
112. Dabash, S. Blocking Screw-assisted Intramedullary Nailing Using the Reverse-rule-of-thumbs for Limb Lengthening and Deformity Correction / S. Dabash, D.T. Zhang, S.R. Rozbruch, A.T. Fragomen // *Strategies Trauma Limb Reconstr.* – 2019. – Vol. 14, N 2. – P. 77-84.
113. Dahl, M.T. Limb length discrepancy / M.T. Dahl // *Pediatr. Clin. North Am.* 1996. – Vol. 43, N 4. – P. 849-865.
114. De Bastiani, G. Limb lengthening by callus distraction (callotaxis) / G. De Bastiani, R. Aldegheri, L. Renzi-Brivio [et al.] // *J. Pediatr. Orthop.* 1987. – Vol. 7. – P. 129–134.
115. Donnan, L.T. Acute correction of lower limb deformity and simultaneous lengthening with a monolateral fixator / L.T. Donnan, M. Saleh, A.S. Rigby // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 2003. – Vol. 85, N 2. – P. 254–260.
116. Eitel, F. Bone regeneration in animals and in man. A contribution to understanding the relative value of animal experiments to human pathophysiology /

F. Eitel, F. Klapp, W. Jacobson, L. Schweiberer // Arch. Orthop. Trauma Surg. –1978. – 1981. –Vol. 99, N 1. – P. 59–64.

117. El-Husseini, T.F. Comparison between lengthening over nail and conventional Ilizarov lengthening: a prospective randomized clinical study / T.F. El-Husseini, N.A. Ghaly, M.A. Mahran [et al.] // Strat. Traum. Limb. Recon. – 2013. – Vol. 8, N 2. – P. 97–101.

118. Emara, K. Ilizarov technique of lengthening and then nailing for height increase / K. Emara, A. Farouk, R. Diab // J. Orthop. Surg (Hong Kong). – 2011. – Vol. 19, N 2. – P. 204–208.

119. Endo, H. The minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) technique with a locking compression plate for femoral lengthening / H. Endo, K. Asami, S. Mitani [et al.] // Acta Med. Okayama. – 2008. – Vol. 62, N 5. – P. 333-339.

120. Farsetti, P. Lower limb lengthening over an intramedullary nail: a long-term follow-up study of 28 cases / P. Farsetti, F. De Maio, V. Potenza [et al.] // J. Orthop. Traumatol. – 2019. – Vol. 20, N 1. – P. 30.

121. Fassett, F. An inquiry as to the practicability of equalizing unequal legs by operation / F. Fassett // Am. J. Orthop. Surg. – 1918. – Vol. 16. – P. 277–287.

122. Feichtinger, X. Fracture patterns in patients with multiple fractures: the probability of multiple fractures and the most frequently associated regions / X. Feichtinger, R. Kocijan, R. Mittermayr [et al.] // Eur. J. Trauma Emerg. Surg. – 2020. – Vol. 46, N 5. – P. 1151–1158.

123. Fernandes, H.P. Femur lengthening with monoplanar external fixator associated with locked intramedullary nail / H.P. Fernandes, D.G. Barronovo, F.L. Rodrigues, M. Hono // Rev. Bras. Ortop. – 2016. – Vol. 52, N 1. – P. 82–86.

124. Fragomen, A.T. A Comparison of Femoral Lengthening Methods Favors the Magnetic Internal Lengthening Nail When Compared with Lengthening Over a Nail / A.T. Fragomen, A.M. Kurtz, J.R. Barclay [et al.] // HSS J. – 2018. – Vol. 14, N 2. – P. 166–176.

125. Fragomen, A.T. Prophylactic Postoperative Antibiotics May Not Reduce Pin Site Infections After External Fixation / A.T. Fragomen, A.O. Miller, B.D. Brause [et al.] // *HSS J.* – 2017. – Vol. 13, N 2. – P. 165–170.
126. Fragomen, A.T. Retrograde magnetic internal lengthening nail for acute femoral deformity correction and limb lengthening / A.T. Fragomen, S.R. Rozbruch // *Expert Rev. Med. Devices* – 2017. – Vol. 14, N 10. – P. 811–820.
127. Frost, M.W. Systematic review of complications with externally controlled motorized intramedullary bone lengthening nails (FITBONE and PRECICE) in 983 segments / M.W. Frost, O. Rahbek, J. Traerup [et al.] // *Acta Orthop.* – 2021. – Vol. 92, N 1. – P. 120–127.
128. Fu, F. Research progress of the role of periosteum in distraction osteogenesis / F. Fu, K. Zhang // *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* – 2017. – Vol. 31, N 7. – P. 876–879. (in Chinese).
129. Furmetz, J. Blocking screws for alignment control in intramedullary limb lengthening / J. Furmetz, S. Bosl, J. Schilling [et al.] // *Injury.* – 2017. – Vol. 48, N 7. – P. 1597–1602.
130. Calder, P.R. An Update on the Intramedullary Implant in Limb Lengthening: A Quinquennial Review. Part 2: Extending Surgical Indications and Further Innovation / P.R. Calder, J. Wright, W.D. Goodier // *Injury.* – 2022. – Vol. 53, Suppl. 3. – P. S88–S94.
131. Caton, J. L'allongement progressif des membres par clou mécanique centromédullaire d'allongement: étude expérimentale chez le mouton / J. Caton, J. Rubini, J.-C. Panisset [et al.] // *Rev. Chir. Orthop. Rep. Appar. Mot.* – 2001. – Vol. 87, N 3. – P. 237–247.
132. Caton, J. Traitement des inégalités de longueur des membres inférieures et des sujets de petite taille chez l'enfant et l'adolescent / J. Caton // *Rev. Chir. Orthop. Rep. Appar. Mot.* – 1991. – Vol. 77, N 1. – P. 31–80.
133. Ghoneem, H.F. The Ilizarov method for correction of complex deformities. Psychological and functional outcomes / H.F. Ghoneem, J.G. Wright, W.G. Cole [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1996. – Vol. 78, N 10. – P. 1480–1485.

134. Giannoudis, P.V. Long bone non-unions treated with the diamond concept: a case series of 64 patients / P.V. Giannoudis, S. Gudipati, P. Harwood, N.K. Kanakaris // *Injury*. – 2015. – Vol. 46, N 8. – P. 48–54.
135. Goldstein, R.Y. The evolution of the Ilizarov technique: Part 2: the principles of distraction osteosynthesis / R.Y. Goldstein, C.J. Jordan, T.M. McLaurin, A. Grant // *Bull Hosp Jt Dis*. – 2013. – Vol. 71, N 1. – P. 96–103.
136. Gordon, J.E. Leg Length Discrepancy: The Natural History (And What Do We Really Know) / J.E. Gordon, L.E. Davis // *J. Pediatr. Orthop.* – 2019. – Vol. 39, N 6, Suppl 1. – P. S10–S13.
137. Guichet, J.M. A nail for progressive lengthening. An animal experiment with a 2-year follow-up / J.M. Guichet, P.M. Grammont, P. Trouilloud // *Chirurgie*. – 1992. – Vol. 118, N 6-7. – P. 405–410. (in French).
138. Guichet, J.M. Mechanical characterization of a totally intramedullary gradual elongation nail / J.M. Guichet, R.S. Casar // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1997. – N 337. – P. 281–290.
139. Guichet, J.M. Lower limb-length discrepancy. An epidemiologic study / J.M. Guichet, J.M. Spivak, P. Trouilloud, P.M. Grammont // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1991. – N 272. – P. 235–241.
140. Guo, Q. Tibial lengthening over an intramedullary nail in patients with short stature or leg-length discrepancy: a comparative study / Q. Guo, T. Zhang, Y. Zheng [et al.] // *Int. Orthop.* – 2012. – Vol. 36, N 1. – P. 179–184
141. Gurney, B. Leg length discrepancy / B. Gurney // *Gait Posture*. – 2002. – Vol. 15, N 2. – P. 195–206.
142. Hafez, M. Quality of life of children during distraction osteogenesis: a comparison between intramedullary magnetic lengthening nails and external fixators / M. Hafez, N. Nicolaou, A. Offiah [et al.] // *Int. Orthop.* – 2022. – Vol. 46, N 6. – P. 1367–1373.
143. Harbacheuski, R. Does lengthening and then plating (LAP) shorten duration of external fixation? / R. Harbacheuski, A.T. Fragomen, S.R. Rozbruch // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2012. – Vol. 470, N 6. – P. 1771–1781.

144. Harvey, W. F. Association of leg-length inequality with knee osteoarthritis: a cohort study / W.F. Harvey, M. Yang, T.D.V. Cooke [et al.] // *Ann. Internal Med.* – 2010. – Vol. 152, N 5. – P. 287–295.
145. Havitcioglu, H. Cosmetic bilateral leg lengthening using intramedullary nail experience of 9 cases / H. Havitcioglu, O. Gursan, Y. Isin // *J. Orthop.* – 2020. – Vol. 20. – P. 232–235.
146. Hefti, F. Achsen und Längen. Kinderorthopädie in der Praxis / F. Hefti. – Heidelberg : Springer Medizin, 2006.
147. Hefti, F. Leg length inequality A prospective study of young men during their military service / F. Hefti // *Ups. J. Med. Sci.* – 1988. – Vol. 93. – P. 245–253.
148. Hosny, G.A. Limb lengthening history, evolution, complications and current concepts / G.A. Hosny // *J. Orthop. Traumatol.* – 2020. – Vol. 21, N 1. – P. 3.
149. Hrutkay, J.M. Operative lengthening of the lower extremity and associated psychological aspects: the Children's Hospital experience / J.M. Hrutkay, R.E. Eilert // *J. Pediatr. Orthop.* – 1990. – Vol. 10, N 3. – P. 373–377.
150. Jain, S. Does the use of an intramedullary nail alter the duration of external fixation and rate of consolidation in tibial lengthening procedures? A systematic review / S. Jain, P. Harwood // *Strat. Trauma Limb Reconstr.* – 2012. – Vol. 7, N 3. – P. 113–121.
151. Jordan, C.J. The evolution of the Ilizarov technique: part 1: the history of limb lengthening / C.J. Jordan, R.Y. Goldstein, T.M. McLaurin, A. Grant // *Bull. Hosp. Jt. Dis.* – 2013. – Vol. 71, N 1. – P. 89–95.
152. Kabata, T. Safety range for acute limb lengthening in primary total hip arthroplasty / T. Kabata, Y. Kajino, D. Inoue [et al.] // *Int. Orthop.* – 2019. – Vol. 43, N 9. – P. 2047–2056.
153. Kendall, J.C. Foot posture, leg length discrepancy and low back pain – their relationship and clinical management using foot orthoses – an overview / J.C. Kendall, A.R. Bird, M.F. Azari // *Foot (Edinb).* – 2014. – Vol. 24, N 2. – P. 75–80.
154. Khamis, S. Relationship and significance of gait deviations associated with limb length discrepancy: A systematic review / S. Khamis, E. Carmeli // *Gait Posture.* – 2017. – Vol. 57. – P. 115–123.



155. Kievit, A.J. The successful treatment of genu recurvatum as a complication following eight-Plate epiphysiodesis in a 10-year-old girl: a case report with a 3.5-year follow-up / A.J. Kievit, D.C. van Duijvenbode, M.H. Stavenuiter // *J. Pediatr. Orthop. B.* – 2013. – Vol. 22, N 4. – P. 318–321.
156. Kim, S.J. Pitfalls of lengthening over an intramedullary nail in tibia: a consecutive case series / S.J. Kim, A. Mandar, S.H. Song, H.R. Song // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2012. – Vol. 132. – P. 185–191.
157. Kim, H. Tibial lengthening using a reamed type intramedullary nail and an Ilizarov external fixator / H. Kim, S.K. Lee, J.K. Kim [et al.] // *Int. Orthop.* – 2009. – Vol. 3. – P. 835–841.
158. Klein, M.P. Reaming versus non-reaming in medullary nailing: interference with cortical circulation of the canine tibia / M.P. Klein, B.A. Rahn, R. Frigg [et al.] // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 1990. – Vol. 109, N 6. – P. 314–316.
159. Kocaoglu, M. Complications encountered during lengthening over an intramedullary nail / M. Kocaoglu, L. Eralp, O. Kilicoglu [et al.] // *J. Bone Joint Surg.* – 2004. – Vol. 86-A, N 11. – P. 2406–2411.
160. Kocaoglu, M. Results of cosmetic lower limb lengthening by the lengthening over nail technique / M. Kocaoglu, F.E. Bilen, I.L. Eralp, F. Yumrukcal // *Acta Orthop. Belg.* – 2017. – Vol. 83, N 2. – P. 231–244.
161. Kojimoto, H. Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum / H. Kojimoto, N. Yasui, T. Goto [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1988. – Vol. 70, N 4. – P. 543–549.
162. Kristiansen, L.P. Lengthening of the tibia over an intramedullary nail, using the Ilizarov external fixator. Major complications and slow consolidation in 9 lengthenings / L.P. Kristiansen, H. Steen // *Acta Orthop. Scan.* – 1999. – Vol. 70, N 3. – P. 271–274.
163. Küçükkaya, M. Femoral lengthening and deformity correction using the Fitbone motorized lengthening nail / M. Küçükkaya, Ö. Karakoyun, S. Sökücü, R. Soydan // *J. Orthop. Sci.* – 2015. – Vol. 20, N 1. – P. 149–154.

164. Lascombes, P. Classification of complications after progressive long bone lengthening: proposal for a new classification / P. Lascombes, D. Popkov, H. Huber [et al.] // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2012. – Vol. 98, N 6. – P. 629–637.
165. Leblanc, C. No osteolysis at the telescopic junction of 128 FITBONE lengthening nails / C. Leblanc, J.D. Rölfing, T. Langlais [et al.] // *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* – 2023. – Vol. 109, N 3. – No 103501.
166. Lee, D.H. Complications of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor (ISKD) in distraction osteogenesis / D.H. Lee, K.G. Ryu, H.R. Song, S.H. Han // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2014. – Vol. 472, N 12. – P. 3852–3859.
167. Lee, W.C. Tension band plating is less effective in achieving equalization of leg length / W.C. Lee, H.K. Kao, W.E. Yang, C.H. Chang // *J. Child. Orthop.* – 2018. – Vol. 12, N 6. – P. 629–634.
168. Li, G. Bone transport over an intramedullary nail. A case report with histologic examination of the regenerated segment / G. Li, S. Berven, N.A. Athanasou, A.H. Simpson // *Injury.* – 1999. – Vol. 30. – P. 525–534.
169. Li, Z. Distraction osteogenesis technique using an intramedullary nail and a monolateral external fixator in the reconstruction of massive postosteomyelitis skeletal defects of the femur / Z. Li, X. Zhang, L. Duan, X. Chen // *Can. J. Surg.* 2009. – Vol. 52, N 2. – P. 103–111.
170. Li, R. Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction / R. Li, M. Saleh, L. Yang, L. Coulton // *J. Orthop. Res.* – 2006. – Vol. 24, N 3. – P. 339–347.
171. Lin, C.C. Limb Lengthening Over an Intramedullary Nail. An Animal Study and Clinical Report / C.C. Lin, S.C. Huang, T.K. Liu, M.W. Chapman // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1996. – N 330. – P. 208–216.
172. Liu, K.Y. Tibial Lengthening along Submuscular Plate with Simultaneous Acute Tibial Deformity Correction by High-Energy Osteotomy: A Comparative Study / K.Y. Liu, K.W. Wu, C.C. Lee [et al.] // *J. Clin. Med.* – 2022. – Vol. 11, N 18. – P. 5478.
173. Mahboubian, S. Femoral lengthening with lengthening over a nail has fewer complications than intramedullary skeletal kinetic distraction / S. Mahboubian, M. Seah,

A.T. Fragomen, S.R. Rozbruch // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2012. – Vol. 470, N 4. – P. 1221–1231.

174. Martin, L. Living with the Ilizarov frame: adolescent perceptions / L. Martin, M. Farrell, K. Lambrenos, D. Nayagam // *J. Adv. Nurs.* – 2003. – Vol. 43, N 5. – P. 478–487.

175. Marwan, Y. Cosmetic stature lengthening: systematic review of outcomes and complications / Y. Marwan, D. Cohen, M. Alotaibi [et al.] // *Bone Joint Res.* – 2020. – Vol. 9, N 7. – P. 341–350.

176. McCaw, S.T., Bates, B.T. Biomechanical implications of mild leg length inequality / S.T. McCaw, B.T. Bates // *Br J Sports Med.* 1991. – Vol. 25, N 1. – P. 10-13.

177. Mills, L.A. The risk of non-union per fracture: current myths and revised figures from a population of over 4 million adults / L.A. Mills, S.A. Aitken, A.H.R.W. Simpson // *Acta Orthop.* – 2017. – Vol. 88, N 4. – P. 434–439.

178. Morgan, E.F. Vascular development during distraction osteogenesis proceeds by sequential intramuscular arteriogenesis followed by intraosteal angiogenesis / E.F. Morgan, A.I. Hussein, B.A. Al-Awadhi [et al.] // *Bone.* – 2012. – Vol. 51, N 3. – P. 535–545.

179. Morrison, S.G. What's new in limb lengthening and deformity correction / S.G. Morrison, A.G. Georgiadis, M.T. Dahl // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2020. – Vol. 102, N 16. – P. 1391–1396.

180. Munajat, I. Submuscular Plate Stabilisation After Lengthening: Standard and Modified Techniques / I. Munajat, A.R. Sulaiman, E.F. Mohd, M. Zawawi // *Malays Orthop J.* – 2020. – Vol. 14, N 1. – P. 49–54.

181. Mundi, R. Open Tibial Fractures: Updated Guidelines for Management / R. Mundi, H. Chaudhry, G. Niroopan [et al.] // *JBJS Rev.* – 2015. – Vol. 3, N 2. – No 01874474-201503020-00003.

182. Muthusamyy, S. The use of blocking screws with internal lengthening nail and reverse rule of thumb for blocking screws in limb lengthening and deformity correction surgery / S. Muthusamyy, S.R. Rozbruch, A.T. Fragomen // *Strateg. Trauma Limb Reconstr.* – 2016. – Vol. 11, N 3. – P. 199–205.

183. Muzaffar, N. Callus patterns in femoral lengthening over an intramedullary nail / N. Muzaffar, A. Hafeez, H. Modi, H.R. Song // *J. Orthop. Res.* – 2011. – Vol. 29, N 7. – P. 1106–1113.
184. Nichols, L.R.B. Has the Threshold for Epiphysiodesis Versus Lengthening Changed in the Era of Magnetically Controlled Nails? / L.R.B. Nichols // *J. Pediatr. Orthop.* – 2021. – Vol. 41, N Suppl 1. – P. S24–S32.
185. Nguyen Van, L. Complications and functional, psychological outcomes of bilateral tibial lengthening over intramedullary nail: evidence from Vietnam / L. Nguyen Van, D. Le Van // *Int. Orthop.* – 2021. – Vol. 45, N 8. – P. 2007–2015.
186. Nguyen Van, L. Treatment of 18 cm lower limb length discrepancy using lengthening over nail technique in tibia and lengthening and plating in femur – A case report / L. Nguyen Van // *Int. J. Surg. Case Rep.* – 2023. – Vol. 104. – No 107961.
187. Nourbakhsh, M.R. Relationship between mechanical factors and incidence of low back pain / M.R. Nourbakhsh, A.M. Arab // *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* – 2002. – Vol. 32. – P. 447–460.
188. Oh, C.W. Limb lengthening with a submuscular locking plate / C.W. Oh, H.R. Song, J.W. Kim [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 2009. – Vol. 91, N 10. – P. 1394–1399.
189. Paley, D. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening / D. Paley, J.E. Herzenberg, G. Paremain, A. Bhave // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1997. – Vol. 79-A. – P. 1464–1480.
190. Paley, D. PRECICE intramedullary limb lengthening system / D. Paley // *Expert Rev. Med. Devices.* – 2015. – Vol. 12, N 3. – P. 231–249.
191. Paley, D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique / D. Paley // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1990. – N 250. – P. 81–104.
192. Park, H.W. Tibial lengthening over an intramedullary nail with use of the Ilizarov external fixator for idiopathic short stature / H.W. Park, K.H. Yang, K.S. Lee [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 2008. – Vol. 90. – P. 1970–1978.

193. Pawik, Ł. Assessment of the quality of life in patients with varying degrees of equalization of lower limb length discrepancy treated with Ilizarov method / Ł. Pawik, M. Pawik, Z. Wrzosek [et al.] // *J. Orthop. Surg. Res.* – 2021. – Vol. 16, N 1. – P. 62.
194. Peltonen, J. Leg lengthening by osteotomy and gradual distraction: an experimental study / J. Peltonen, E. Karaharju, K. Aalto [et al.] // *J. Pediatr. Orthop.* – 1988. – Vol. 8, N 5. – P. 509–512.
195. Ramaker, R.R. The psychological and social functioning of 14 children and 12 adolescents after Ilizarov leg lengthening / R.R. Ramaker, S.W. Lagro, P.M. van Roermund, G. Sinnema // *Acta Orthop Scand.* – 2000. – Vol. 71, N 1. – P. 55–59.
196. Reichert, I.L. The acute vascular response to intramedullary reaming. Microsphere estimation of blood flow in the intact ovine tibia / I.L. Reichert, I.D. McCarthy, S.P. Hughes // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1995. – Vol. 77, N 3. – P. 490–493.
197. Richardson, S.S. Cost Comparison of Femoral Distraction Osteogenesis With External Lengthening Over a Nail Versus Internal Magnetic Lengthening Nail / S.S. Richardson, W.W. Schairer, A.T. Fragomen, S.R. Rozbruch // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* – 2019. – Vol. 27, N 9. – P. e430–e436.
198. Rozbruch, S.R. Limb lengthening and then insertion of an intramedullary nail: a case-matched comparison / S.R. Rozbruch, D. Kleinman, A.T. Fragomen, S. Ilizarov // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2008. – Vol. 466, N 12. – P. 2923–2932.
199. Sampaio, F.M. Clinical evaluation of patients submitted to osteogenic distraction in the lower limb at a university hospital / F.M. Sampaio, L.P. Marçal, D.G. Dos Reis [et al.] // *Rev. Bras. Ortop.* – 2016. – Vol. 51, N 5. – P. 521–526.
200. Sheridan, G.A. Integrated Limb Lengthening Is Superior to Classical Limb Lengthening: A Systematic Review and Meta-analysis of the Literature / G.A. Sheridan, A.T. Fragomen, S.R. Rozbruch // *J. Am. Acad. Orthop. Surg. Glob. Res. Rev.* – 2020. – Vol. 4, N 6. – P. e20.00054.
201. Simpson, A.H. Leg lengthening over an intramedullary nail / A.H. Simpson, A.S. Cole, J. Kenwright // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1999. – Vol. 81. – P. 1041–1045.

202. Sitter, T. The effect of reamed versus unreamed nailing on intramedullary blood supply and cortical viability / T. Sitter, J. Wilson, B. Browner [et al.] // *J. Orthop. Trauma.* – 1990. – Vol. 4. – P. 232–237.
203. Salcedo Cánovas, C. Tibial bone lengthening via external fixation: Comparative study of the traditional technique and a technique with intramedullary nail assistance / C. Salcedo Cánovas // *Rev. Esp. Cir. Ortop. Traumatol. (Engl Ed).* – 2018. – Vol. 62, N 1. – P. 8-18. (English, Spanish).
204. Song, H.R. Femoral lengthening over an intramedullary nail using the external fixator: risk of infection and knee problems in 22 patients with a follow-up of 2 years or more / H.R. Song, C.W. Oh, R. Mattoo [et al.] // *Acta Orthop.* – 2005. – Vol. 76, N 2. – P. 245–252.
205. Song, M.H. Low-intensity pulsed ultrasound enhances callus consolidation in distraction osteogenesis of the tibia by the technique of lengthening over the nail procedure / M.H. Song, S.H. Kim, H.R. Song // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2019. – Vol. 20, N 1. – P. 108.
206. Sun, X.T. Complications and outcome of tibial lengthening using the Ilizarov method with or without a supplementary intramedullary nail: a case-matched comparative study / X.T. Sun, T.R. Easwar, S. Manesh [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 2011. – Vol. 93, N 6. – P. 782–787.
207. Tallroth, K.K. Is a long leg a risk for hip or knee osteoarthritis? / K.K. Tallroth, L. Ristolainen, M. Manninen // *Acta Orthop.* – 2017. – Vol. 88, N 5. – P. 512–555.
208. Tetsworth, K. Bone transport versus acute shortening for the management of infected tibial non-unions with bone defects / K. Tetsworth, D. Paley, C. Sen [et al.] // *Injury.* – 2017. – Vol. 48, N 10. – P. 2276–2284.
209. Tosun, H.B. Fixator-assisted tibial lengthening over a plate in a patient with sequelae of poliomyelitis / H.B. Tosun, S. Serbest, A. Uludag [et al.] // *Medicine (Baltimore).* – 2016. – Vol. 95, N 44. – P. e5252.
210. Trueta, J. Blood supply and the rate of healing of tibial fractures / J. Trueta // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1974. – Vol. 105. – P. 11–26.

211. Vargas Barreto, B. Complications of Ilizarov leg lengthening: a comparative study between patients with leg length discrepancy and short stature / B. Vargas Barreto, J. Caton, Z. Merabet [et al.] // *Int. Orthop.* – 2007. – Vol. 31, N 5. – P. 587–591.
212. Vogt, B. Leg Length Discrepancy – Treatment Indications and Strategies / B. Vogt, G. Gosheger, T. Wirth [et al.] // *Dtsch. Arztebl. Int.* – 2020. – Vol. 117, N 24. – P. 405-411. (German)
213. Vogt, B. Guided growth in children and adolescents. Correction of leg length discrepancies and leg axis deformities / B. Vogt, F. Schiedel, R. Rödl // *Orthopade.* – 2014. – Vol. 43, N 3. – P. 267–284.
214. Vulcano, E. Assessment of Bone Healing During Antegrade Intramedullary Rod Femur Lengthening Using Radiographic Pixel Density / E. Vulcano, J.S. Markowitz, S. Ali [et al.] // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* – 2018. – Vol. 26, N 18. – P. e388–e394.
215. Watts, J. China's cosmetic surgery craze. Leg-lengthening operations to fight height prejudice can leave patients crippled / J. Watts // *Lancet.* – 2004. – Vol. 363, N 9413. – P. 958.
216. Whitaker, A.T. Lower extremity growth and deformity / A.T. Whitaker, C. Vuillermin // *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* – 2016. – Vol. 9, N 4. – P. 454–461.
217. Wagner, H. Operative lengthening of the femur / H. Wagner // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 1978. – N 136. – P. 125–142.
218. Wagner, P. PRECICE magnetically-driven, telescopic, intramedullary lengthening nail: pre-clinical testing and first 30 patients / P. Wagner, R.D. Burghardt, S.A. Green [et al.] // *SICOT J.* – 2017. – Vol. 3. – P. 19.
219. Watanabe, K. Tibial lengthening over an intramedullary nail / K. Watanabe, H. Tsuchiya, K. Sakurakichi [et al.] // *J. Orthop. Sci.* – 2005. – Vol. 10. – P. 480–485.
220. Wendelburg, K.M. Use of an interlocking nail-hybrid fixator construct for distal femoral deformity correction in three dogs / K.M. Wendelburg, D.D. Lewis, C.W. Sereda [et al.] // *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* – 2011. – Vol. 24, N 3. – P. 236-245.

221. Wu, C.C. Tibial lengthening: technique for speedy lengthening by external fixation and secondary internal fixation / C.C. Wu, W.J. Chen // J Trauma. – 2003. – Vol. 54, N 6. – P. 1159–1165.

222. Xu, W.G. Comparison of intramedullary nail versus conventional Ilizarov method for lower limb lengthening: a systematic review and meta-analysis / W.G. Xu // Orthop Surg. – 2017. – Vol. 9, N 2. – P. 159–166.