САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АКУЛАЕВ

Антон Андреевич

Метод трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести остеотомией scarf

Научная специальность: 3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, доцент

И.Г. Беленький

Санкт-Петербург, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МЕТОДОВ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПРИОБРЕТЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕДНЕГО ОТДЕЛА СТОПЫ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ ТЯЖЕСТИ ОСТЕОТОМИЕЙ SCARF 18

1.1. Этиология и патогенез приобретенной деформации переднего отдела стопы HV 18

1.2. Способы оценки деформации и ее коррекции 21

1.2.1. Оценка функции стопы при помощи анкетирования 21

1.2.2. Рентгенологическая оценка тяжести HV 24

1.2.3. Компьютерная томография 28

1.3. Хирургическое лечение hallux valgus. Краткий обзор остеотомий 28

1.3.1. Шевронная остеотомия 29

1.3.2. Остеотомии Mitchell и Bosch 31

1.3.3. Остеотомия scarf 33

1.3.4. Остеотомия MICO (minimally invasive Chevron and Akin osteotomy) 34

1.3.5. Проксимальные остеотомии 35

1.3.6. Артродезы суставов 36

1.4. Корригирующая остеотомия scarf для устранения деформации Hallux valgus 37

1.4.1. Показания и противопоказания 40

1.4.2. Применение дополнительных остеотомий при выполнении scarf 40

1.4.3. Сложности остеотомии scarf и осложнения 41

1.5. Современные возможности трехмерной печати в травматологии и ортопедии 45

1.5.1. Моделирование для индивидуального проекта 46

1.5.2. Методы печати и принципы технологии 46

1.5.3. Анатомические модели для хирургического планирования 49

1.5.4. Индивидуальные инструменты 50

1.5.5. Применение 3D-печати в травматологии и ортопедии 54

1.5.6. Применение 3D-печати в образовании 57

1.6. Резюме 59

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ 61

2.1. Структура и общая характеристика диссертационного исследования 61

2.2. Экспериментальная часть исследования 68

2.2.1. Разработка метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя 68

2.2.2. Сегментация ткани, создание виртуальной модели 69

2.2.3. Визуальное процедурное планирование 71

2.2.4. Проектировка шаблона-направителя 74

2.2.5. Проектирование и создание индивидуальной печатной модели 76

2.2.6. Создание индивидуальных шаблона-направителя и печатной модели стопы 77

2.2.7. Выполнение операции на индивидуальной печатной модели 78

2.3. Проведение клинической части исследования 79

2.3.1. Критерии включения 79

2.3.2. Общая характеристика первого этапа клинической части исследования 80

2.3.3. Общая характеристика пациентов, включенных во 2 этап клинического исследования 81

2.3.4. Общая характеристика пациентов, включенных в 3 и 4 этапа клинического исследования 83

2.3.5. Методы обследования пациентов 93

2.3.6. Хирургическая техника 97

2.3.7. Послеоперационное ведение 99

2.3.8. Контрольные точки исследования 99

2.3.9. Методы статистической оценки данных 100

ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ШАБЛОНА-НАПРАВИТЕЛЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕНОСА ДАННЫХ, РАССЧИТАННЫХ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ, НА РЕАЛЬНУЮ ОПЕРАЦИЮ 102

3.1. Характеристика результатов 103

3.2. Анализ полученных результатов 105

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТРЕХМЕРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С СОЗДАНИЕМ ШАБЛОНА-НАПРАВИТЕЛЯ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПРИОБРЕТЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕДНЕГО ОТДЕЛА СТОПЫ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ ТЯЖЕСТИ ОСТЕОТОМИЕЙ SCARF ОПЫТНЫМ ХИРУРГОМ 108

4.1. Результаты исследования в первой и второй группах 109

4.2. Результаты исследования в первой и второй группе в подгруппах дополнительных остеотомий 113

4.3. Результаты в первой и второй группе в подгруппах без дополнительных остеотомий 117

4.4. Сравнение результатов между подгруппами дополнительных остеотомий и без дополнительных остеотомий внутри каждой из групп 121

4.5. Обсуждение полученных результатов 124

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА БАЗОВОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ОСТЕОТОМИИ SCARF ХИРУРГОМ, ОСВАИВАЮЩИМ МЕТОДИКУ 126

5.1. Результаты исследования в третьей группе 126

5.2. Результаты сравнения третьей и первой групп клинического исследования..... 129

ГЛАВА 6. ТРЕХМЕРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ С СОЗДАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ШАБЛОНА-НАПРАВИТЕЛЯ В РАБОТЕ ХИРУРГА, ОСВАИВАЮЩЕГО МЕТОДИКУ КОРРИГИРУЮЩЕЙ ОСТЕОТОМИИ SCARF 135

6.1. Результаты сравнения между третьей, четвертой, пятой группами 136

6.2. Результаты сравнения между третьей, четвертой, пятой группой в подгруппе дополнительных остеотомий 144

6.3. Результаты сравнения между третьей, четвертой, пятой группами в выборке без дополнительных остеотомий 152

6.4. Сравнение результатов между подгруппами дополнительных остеотомий и без дополнительных остеотомий внутри каждой из групп 160

6.5. Сравнение 1 и 5 групп клинического исследования..... 162

6.6. Уточнение, относительно неравномерности распределения по гендерному признаку 165

6.7. Анализ полученных результатов 165

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 168

ВЫВОДЫ 176

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ 178

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ..... 179

ПРИЛОЖЕНИЕ 181

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... 189

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

История лечения вальгусной деформации первого пальца стопы берёт начало в середине XIX века. В 1856 году Volkmann опубликовал первое описание “бурсита большого пальца стопы” [227]. Четырнадцать лет спустя Hueter предложил называть это состояние “вальгусной деформацией стопы”, описывая очевидную деформацию отклонения большого пальца кнаружи [111]. С момента своего официального появления в XIX веке деформация Hallux valgus (HV) была одной из наиболее часто изучаемых патологий стопы из-за ее высокой распространенности [61, 89, 106, 141, 153, 161, 213, 239]. Несмотря на то, что в последние десятилетия эта патология привлекает значительное внимание представителей ортопедической науки и практики, ее патогенез до сих пор до конца не изучен [75, 187].

Следует сказать, что патогенез деформации переднего отдела имеет различные компоненты, однако HV имеет отдельный патогенетический механизм и может быть ассоциирован с различными видами плоскостопия, в данной работе будет изучен именно аспект отклонения первого пальца кнаружи [193]. Сегодня очевидно, что деформация HV – это стадийный сложный многоплоскостной процесс. Определение ее тяжести в первую очередь основывается на данных рентгенологического исследования. Рентгенография стопы с нагрузкой с помощью определения угловых показателей деформации определить степень тяжести HV. При этом классическое исследование деформации в основном ограничивается двумя плоскостями: медиально-латеральной и переднезадней, что оценивается по рентгенограммам, выполненным в дорсоплантарной и боковой проекциях. На основе этих двух проекций и были разработаны классические параметры для определения тяжести HV [67, 198]. Выделяют 3 степени тяжести деформации HV: легкая, средняя и тяжелая. В диссертации будут рассмотрены случаи с легкой и средней степенью тяжести деформации HV.

На сегодняшний день описано более 100 оперативных вмешательств, посвященных коррекции HV и нормализации этих двухплоскостных количественных параметров [84]. Многие из этих методов представляют лишь исторический интерес, однако стабильно благоприятные результаты не всегда остаются достижимыми даже при выполнении более современных и популярных хирургических методик, которым нередко сопутствует неполная коррекция деформации, приводящая к клинически значимым показателям неблагоприятных исходов лечения [33]. Несмотря на наличие множества вариантов остеотомий для лечения приобретённых деформаций переднего отдела стопы, наиболее универсальной остеотомией, которая применима для коррекции различных степеней деформации HV, является остеотомия scarf, изучению которой и посвящено настоящее диссертационное исследование.

Со времени первого упоминания Weil L. в 1984 году и первоначальной статьи Barouk L.S. в 1991 году основными преимуществами остеотомии scarf по сравнению с другими хирургическими методами стали её универсальность, раннее функциональное восстановление, сохранение движений в первом плюсне-клиновидном суставе и надежность результата в долгосрочной перспективе [13, 16, 28, 134, 174]. Было показано, что метод scarf обеспечивает эффективное и воспроизводимое облегчение симптомной деформации HV даже при самых тяжелых ее степенях. Однако эта процедура, несмотря на очевидные преимущества, имеет ряд «подводных камней». Об этом свидетельствуют публикации исследований Bock и др. в 2015 [43], где говорится, что остеотомия scarf может быть связана с достаточно высокой частотой рецидивов. Тем не менее, частота рецидивов не может считаться убедительным доказательством того, что их возникновение связано с самой операцией. Рецидив является распространенным осложнением, частота которого, как сообщается, колеблется до 78% [116]. Raikin S. обобщили факторы риска рецидива, в том числе анатомические, неанатомические (системные), социальные и хирургические факторы. Вполне возможно, что сочетание этих причин было причиной высокого уровня рецидивов в исследования. [192]. Если говорить о хирургических факторах, то существует

точка зрения, что имеется проблема точного исполнения опилов при выполнении операции остеотомии scarf [84], что связано с тем, что операцию выполняют хирурги, имеющие недостаточный опыт выполнения подобных операций. Улучшить качество выполнения операции и ускорить процесс освоения методики подобным хирургам можно двумя путями: предоперационным моделированием и созданием вспомогательных систем для операции. В последние годы, в результате технического прогресса, для повышения хирургического мастерства стали доступны различные модели, имитирующие реальные клинические ситуации. Сегодня технологии трехмерной печати применяются в различных областях здравоохранения. Подобные тренажеры способны создать безопасную, надежную и контролируемую среду для обучающегося, чтобы практиковаться в неспешной атмосфере без риска для пациента [173]. Кроме того, тренажеры имеют парадигму, ориентированную на обучающегося, которая уже основана на принципе: «учиться на ошибках», что уже создает предпосылки к позитивной модели восприятия обучения. Ошибки не только допустимы во время тренировок на тренажере, но и приветствуются, так как они акцентируют на себе внимание обучающегося и при этом совершенно не вредят пациентам [248]. Существующие тренажеры предназначены для того, чтобы помочь начинающим специалистам освоить различные хирургические навыки и процедуры с использованием надлежащего хирургического инструментария. Возвращаясь к обучению навыков выполнения операции scarf, наиболее целесообразным способом моделирования представляется технология трехмерной печати с созданием индивидуальной модели стопы и индивидуального шаблона-направителя для остеотомии первой плюсневой кости.

На сегодняшний день технология трехмерной печати применяется и во многих других отраслях, в том числе и в различных областях медицины, где существует множество сфер, в которых процедуры трехмерного моделирования и печати улучшают результаты лечения. Наиболее целесообразно использование трёхмерной печати в диагностике и лечении сложных случаев, особенно в области травматологии и ортопедии, где особенно важно определение пространственных

взаимоотношений частей скелета, пострадавших в результате травмы или заболевания. В подобных случаях технология трехмерной печати может обеспечить значительный прогресс в понимании, планировании и проведении реконструктивных операций благодаря точному воспроизведению патологических изменений в трехмерном пространстве. Доказательством этого является то, что интерес к трехмерной печати и публикационная активность, посвящённая этой технологии в травматологии и ортопедии, значительно возросли за последнее время [229]. Это, в частности, объясняется тем, что методы 3D-печати могут не только создавать модели, которые дают лучшее понимание сложной анатомии и патологии пациентов [160], но также могут помогать созданию индивидуальных инструментов для каждого конкретного пациента [51, 97, 216, 234] или даже индивидуальных имплантатов [32, 87].

Индивидуальные модели пациентов, напечатанные на 3D-принтере, с успехом можно использовать в процессе обучения и обсуждения различных вариантов хирургических операций. В частности, такой опыт описан при различных педиатрических ортопедических заболеваниях, таких как болезнь Пертеса, соха Vara и фиброзный анкилоз подтаранного сустава [210].

Индивидуальные модели переломов также использовались для улучшения процесса взаимодействия с пациентами со сложными переломами с высокой степенью функционального дефицита в исходе лечения. Наглядная демонстрация перелома на 3D-модели с объяснением возможных вариантов лечения улучшала понимание патологии и повышала удовлетворенность пациентов результатами операции [182].

Важно и то, что эти физические модели и их электронные файлы программного обеспечения для автоматизированного проектирования (ПОАП) можно сохранить для создания библиотеки различных типов переломов, чтобы при необходимости модели можно было снова распечатать на 3D-принтере. Такая коллекция моделей переломов является полезным учебным пособием для травматологов, врачей смежных специальностей, клинических ординаторов и студентов-медиков [182].

Степень разработанности проблемы

Об использовании моделей, напечатанных на 3D-принтере, при обучении хирургов в ортопедии, имеются только единичные публикации [1], потенциальные преимущества этой технологии в процессе обучения очевидны.

Большинство хирургов до сих пор просто набирают опыт в операционной. При этом освоение определенных хирургических навыков на начальном этапе обучения может подвергать пациентов определённому риску. С осязаемыми твердыми моделями опытные коллеги могут гораздо проще передать свой хирургический опыт молодым хирургам и клиническим ординаторам. Сложные или редкие случаи, такие как коррекция деформации, фиксация многооскольчатого перелома или резекция опухоли кости обычно трудны для теоретического объяснения во время обучения. Их 3D-модели могут предоставить обучающимся уникальные возможности понимания индивидуальной изменённой анатомии пациента. Помимо этого, хирургическая практика на прототипах, созданных с помощью 3D-печати, позволяет хирургам лучше ознакомиться с различными вариантами операции, прежде чем они действительно выполнят их в реальных клинических условиях.

Можно сказать, что потенциал трехмерной печати не изучен и повышение технической компетентности в результате обучения на тренажерах, созданных с помощью трехмерной печати, несомненно имеет потенциал. Несомненная перспективность методов 3D печати с созданием индивидуальных инструментов для выполнения операций коррекции ортопедических деформаций скелета в сочетании с рядом нерешённых вопросов в отношении техники выполнения остеотомии scarf, позволили сформулировать цель настоящего исследования и его задачи.

Цель исследования - улучшить результаты хирургического лечения приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести за счет разработки и применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя.

Задачи исследования

1. Разработать метод, который позволяет на основе результатов компьютерной томографии пациентов с приобретенной вальгусной деформацией переднего отдела легкой и средней тяжести создать индивидуальные виртуальную и печатную модель стопы, осуществить трехмерное планирование, а также создать индивидуальный шаблон-направитель для выполнения остеотомии scarf.

2. В условиях биомеханического эксперимента определить соответствие данных, полученных в виртуальной среде, реальным данным, полученным после оперативного вмешательства с применением метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя на индивидуальной печатной модели стопы.

3. Оценить возможность применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести в реальных условиях.

4. Оценить влияние применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести на клинические результаты выполнения операции опытным хирургом.

5. Оценить влияние применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести на клинические результаты выполнения операции хирургом, осваивающим метода.

6. Оценить влияние сопутствующих остеотомии Akin и малоинвазивных остеотомий II, III, IV, V плюсневых костей на эффективность клинического применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести.

Научная новизна

1. Разработан метод применения технологии трехмерной печати для хирургического лечения приобретенной вальгусной деформации первого пальца стопы легкой и средней тяжести.

2. Разработана и апробирована в клинике технология предоперационного планирования с последующим созданием индивидуального шаблона-направителя для выполнения корригирующей остеотомии scarf, в рамках которой получены следующие патенты: патент на изобретение № 2018140531 от 2019.12.11, патенты на полезную модель № 2018140533 от 2019.07.29, № 2018140534 от 2019.07.03, № 2018140535 от 2019.07.11.

3. Изучено влияние использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести на результаты выполнения операции опытным хирургом, а также хирургом, осваивающим методику операции остеотомии scarf.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Применение технологий трёхмерного планирования в учебном процессе по освоению методов оперативного лечения костных деформаций значительно улучшить качество обучения за счёт пространственного восприятия деформации и принципов её коррекции.

2. Использование разработанной и внедрённой в практику метода трехмерного предоперационного планирования с использованием индивидуального шаблона-направителя при коррекции остеотомией scarf приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести улучшит результаты лечения у хирургов, осваивающих методику операции.

3. Полученные данные позволяют выполнять дополнительные остеотомий других плюсневых костей и остеотомии Akin с применением

индивидуального шаблона-направителя при лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести при наличии показаний к их выполнению без опасения ухудшить результат лечения и/или удлинить период реабилитации.

Методология и методы исследования

Исследование включало экспериментальную и клиническую части. В экспериментальной его части на основании данных КТ стоп 54 пациентов с приобретенной вальгусной деформацией первой пальца стопы легкой и средней тяжести было проведено виртуальное планирование хирургической коррекции деформации остеотомией scarf с последующим созданием индивидуальной печатной модели стопы и индивидуального шаблона-направителя. Затем были проведены остеотомии на печатных моделях стоп исследуемых пациентов с применением индивидуального шаблона-направителя, после чего выполнялось оперативное вмешательство в реальных условиях также с применением индивидуальных шаблонов-направителей, использованных ранее для операций на печатных моделях стоп. В последующем выполнено сравнение результатов коррекции деформации в виртуальной среде, на печатной модели стоп и после выполнения операций scarf в реальных условиях. В частности, проводился сравнительный анализ углов IMA, HVA на основании данных, рассчитанных в виртуальной среде, а также данных рентгенологического исследования после операции на печатных моделях и операции в реальных условиях.

Сравнительное клиническое исследование было проведено в 5-ти клинических группах, сопоставимых по количеству больных, возрастному составу, уровню деформации, показателям индекса массы тела, угловым показателям IMA, HVA, HVIPA, DMMA, анкетированию AOFAS, VASFA, MOXFQ. Во все клинические группы вошли пациенты с приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести Hallux valgus, которым проводилось оперативное лечение техникой scarf. В первую клиническую группу вошли пациенты, операцию

которым проводил опытный хирург без применения комплекса трехмерного планирования. Во вторую клиническую группу вошли пациенты, операцию которым проводил опытный хирург с применением комплекса трехмерного планирования и созданием индивидуального шаблона направителя. В третью клиническую группу вошли пациенты, операцию которым проводил хирург, осваивающий методику scarf до этапа применения комплекса трехмерного планирования. В четвертую клиническую группу вошли пациенты, операцию которым проводил хирург, осваивающий методику scarf с применением комплекса трехмерного планирования. В пятую клиническую группу вошли пациенты, операцию которым проводил хирург, осваивающий методику scarf после этапа применения комплекса трехмерного планирования. Полученные результаты оценивались по угловым показателям HVIPA, HVA, IMA, DMAA до операции, на 12-й и 24-й месяц после операции. Кроме того, полученные результаты оценивались по анкетам AOFAS, VAS FA, MOFSQ до операции, на 6й, 12-й и 24-й месяц после операции. Осложнения оценивали на сроке 24 месяца после операции. Проводилась регистрация времени операции в группах. Также был проведен внутригрупповой анализ в зависимости от применения/отсутствия применения дополнительных остеотомий других плюсневых костей и остеотомии Akin. В подгруппах проводилось попарное сравнение по клиническим показателям (регистрация осложнений на 24 месяц), рентгенологическим показателям (угловые деформации HVIPA, HVA, IMA, DMAA до операции, на 12-й и 24-й месяц после операции), результатам анкетирования (по анкетам AOFAS, VAS FA, MOFSQ до операции, на 6-й, 12-й и 24-й месяц после операции) и времени операции.

По всем показателям проводился статистический анализ с применением соответствующих характеристикам данных методов анализа.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод трехмерного планирования позволяет создать индивидуальный шаблон-направитель и применение которого в ходе операции обеспечивает коррекцию деформации, запланированную в виртуальной среде.

2. Применение индивидуального шаблона-направителя не влияет на качество проведения корригирующей остеотомии, проводимой опытным хирургом, а также не удлиняет время операции.

3. Применение метода трехмерного планирования достоверно улучшает анатомические и функциональные результаты у хирурга, осваивающего методику и после его применения, результаты операции, выполненной традиционным способом сопоставимы с результатами опытного хирурга.

4. Выполнение дополнительных остеотомий по показаниям не влияет на эффективность клинического применения метода трёхмерного планирования с использованием индивидуальных шаблонов-направителей в хирургическом лечении приобретенных вальгусных деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести остеотомией scarf.

Степень достоверности и апробация диссертационной работы

Достоверность полученных результатов клинической части исследования определяется доставочным количеством исследуемых пациентов в однородных группах, а также адекватностью использованных статистических методов обработки полученных данных. Экспериментальная часть исследования выполнена в соответствии с современными представлениями о трёхмерном планировании и печати с применением соответствующего оборудования и программного обеспечения. Объем клинических и экспериментальных данных был достаточен для обоснования выводов и практических рекомендаций. Основные положения диссертационного исследования были доложены на профильных крупных российских и международных конференциях:

First Balkan foot and ankle meeting, European interbalkan medical center (2018 год, г. Салоники, Греция),

VI Всероссийской научно-практической конференции. 2020 год, г. Нижний Новгород, Российская Федерация),

XII Международный конгресс "Невский радиологический форум-2021" (2021 год, online),

1299-е заседание научно-практической секции ассоциации травматологов-ортопедов (2022 год, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Внедрение результатов работы в практику

Результаты диссертационной работы внедрены автором в практическую деятельность 2-го травматологического отделения Клиники высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ.

Личный вклад соискателя

Определение цели и задач, разработка методологических подходов и дизайна исследования, а также статистическая обработка полученных результатов проведена соискателем совместно с научным руководителем – доктором медицинских наук, профессором И.Г. Беленьким.

Автор настоящей диссертации лично участвовал в сборе и анализе литературных данных; экспериментальной работе: разработка шаблона-направителя; разработке твердотельных моделей переднего отдела стопы; проведение планирования операций и созданию индивидуального протокола операции в виртуальной среде; проведению консультаций пациентов и определение показаний и противопоказаний к операции; проведение оперативного пособия; контроль за проведением оперативного пособия у хирурга, осваивающего методику; послеоперационное ведение пациентов; ведение анкетирования во всех контрольных точках; сбор рентгенологических данных во всех контрольных точках; анализ полученных данных; подготовке материалов к публикации; участии

в написании статей; подготовке докладов на научных конференциях по теме работы.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список рекомендованных ВАК РФ для научных публикаций диссертантов, получено 4 патента по теме диссертации.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 215 страницах машинописного текста, иллюстрирована 33 рисунками, содержит 28 таблиц; состоит из введения, обзора литературы, характеристики исследуемых пациентов и описания методов исследования, а также четырех глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, содержащего 249 источников, из них 27 отечественных и 223 иностранных.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МЕТОДОВ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПРИОБРЕТЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕДНЕГО ОТДЕЛА СТОПЫ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ ТЯЖЕСТИ ОСТЕОТОМИЕЙ SCARF

В этой главе будет представлен обзор литературы, где будут раскрыты несколько аспектов, необходимых для понимания настоящего диссертационного исследования. В самом начале будет поднят вопрос о деформации переднего отдела стопы и о ее патогенезе. Кратко будут затронут вопрос применения современных остеотомий для коррекции деформации переднего отдела стопы. Затем фокус внимания будет смещен к остеотомии scarf, как универсальной процедуре и рассмотрены причины ошибок ее реализации и как следствие, осложнений. Учитывая важность выполнения техники остеотомии scarf технологии трехмерного планирования и создание индивидуальных печатных инструментов, будут рассмотрены современные возможности трехмерного планирования.

1.1. Этиология и патогенез приобретенной деформации переднего отдела стопы HV

Деформация переднего отдела стопы Hallux valgus (HV) - это сложная деформация первого луча стопы, которая приводит к изменению механики суставов, их дисфункции и прогрессирующей боли, наиболее часто локализующейся в первом плюснефаланговом суставе. Распространенность HV составляет 23% у взрослых в возрасте от 18 до 65 лет и 35,7% у лиц старше 65 лет. Существует более высокая распространенность среди женщин с соотношениями, варьирующими от 2:1 до 15:1 пораженных заболеванием женщин на каждого мужчину [179, 183, 190, 193].

Точная этиология и биомеханика развития HV до конца не изучена. Известно, что Hallux valgus является результатом как медиального отклонения головки первой плюсневой кости, так и пронации стопы. Был выявлен ряд факторов, которые создают предрасположенность к развитию HV, включая женский пол, возраст, узкую обувь и генетику [65]. Более высокая вероятность развития у женщин, что, вероятно, связано с различиями в обуви, анатомии костей, общей слабостью связок и гипермобильностью у них первого луча [66]. Узкая обувь, особенно на высоких каблуках, считается внешним предрасполагающим фактором для развития HV из-за увеличения нагрузки на головку первой плюсневой кости и вальгусного напряжения в первом плюснефаланговом суставе при скольжении стопы вперед в узком носке во время ходьбы [63, 164, 175]. Распространенность HV увеличивается с возрастом из-за изменений в механике суставов и характере нагрузки на подошву, которые происходят в соответствии с возрастными изменениями [204]. HV также, по-видимому, имеет сильную генетическую предрасположенность. В крупном исследовании IV уровня у 90% пациентов с HV был обнаружен по крайней мере 1 член семьи, страдающий подобным заболеванием (n = 350). Хотя точная схема наследования остается неясной, есть мнение, что наследование заболевания является аутосомно-доминантным с неполной пенетрантностью [190].

Другие потенциальные предрасполагающие факторы к HV включают гипермобильность первого луча, плоскую пятку, относительное укорочение ахиллова сухожилия, слабость связочного аппарата стопы [84]. Первый луч по своей природе нестабилен, поскольку его стабильность зависит от нескольких статических и динамических структур в первом плюснефаланговом (ПФС) и плюснеклиновидном суставах. Считается, что первой стадией HV является ослабление медиальных опорных структур первого луча, что приводит к медиальному отклонению первой плюсневой кости, а также латеральному отклонению и пронации первого пальца стопы, вызывая прогрессирующую варусную деформацию в плюснеклиновидном суставе. Поскольку головка первой плюсневой кости смещается медиально и вращается во фронтальной плоскости, ее

положение по отношению к сесамовидным костям изменяется. В результате головка первой плюсневой кости находится на медиальной сесамовидной кости, в то время как латеральная сесамовидная кость находится в первом межплюсневом пространстве [75, 140, 185].

Кроме того, деформация в плюснефаланговом суставе впоследствии позволяет сухожилиям сгибателей и разгибателей первого пальца натягиваться в боковом направлении, оказывая дополнительную деформирующую силу, что приводит к медиализации головки первой плюсневой кости [187, 217].

Было показано, что молоткообразная деформация пальцев стопы имеет сильную связь с HV [8, 27]. Большинство исследователей считают молоткообразную деформацию главным образом вторичной, поскольку отклонение кнаружи первого пальца “вытесняет” положение второго пальца стопы. Считается также, что эта деформация является результатом того, что длинное сухожилие сгибателя пересиливает мышцы антагонисты [99, 166].

Кроме того, HV препятствует нормальной функции передней части стопы во время цикла ходьбы, перенося давление с большого пальца стопы и перегружая головки малых плюсневых костей [242]. Развитию HV может способствовать и патология заднего отдела стопы. Так, изучаемая деформация связана с более высокой распространенностью контрактуры ахиллова сухожилия [79]. Относительное сокращение длинны ахиллова сухожилия приводят к увеличению пронации передней части стопы и увеличению вальгусной нагрузки на стопу. В результате длинная малоберцовая мышца теряет свое стабилизирующее действие на первую плюсневую кость во фронтальной плоскости, что приводит к снижению стабильности первого луча и медиальной части стопы [197]. Pes planus приводит к увеличению пронации первого луча, что увеличивает нагрузку на медиальную и подошвенную сторону первого луча во время подъема пятки [187].

Таким образом, HV является сложной приобретённой деформацией переднего отдела стопы полиэтиологического характера, при которой страдают как костные, так и мягкотканные структуры стопы с нарушением нормальной биомеханики её работы.

1.2. Способы оценки деформации и ее коррекции

Существуют различные способы оценки выраженности деформации и, в последствии, качества её коррекции. Как правило, оцениваются внешний вид, положение стопы, диапазон движений в первом плюснеклиновидном и плюснефаланговом суставах. Очень важно оценить деформацию пальцев стопы, степень псевдоэкзостозов, форму стопы, оценить объем и болезненность движений в плюснефаланговых суставах, ригидность стопы, способность при напряжении мышц голени устранять деформацию. Важно также оценить стабильность первого плюснеклиновидного сустава клинически [42, 90, 222]. В клинической практике также используются анкеты, например шкала Американского ортопедического общества стопы и голеностопного сустава (AOFAS), которая наиболее часто используется при комплексной оценке патологии стопы [121, 130, 201]. Для определения показаний и противопоказаний к операции требуется также рентгенологическая оценка двух стоп с нагрузкой в дорсоплантарной и боковой проекциях. [14, 149].

1.2.1. Оценка функции стопы при помощи анкетирования

Выбор способа оценки функционального состояния стоп и здоровья пациента в целом является сложной задачей. В статье Мо с соавторами в 2016 году представлен сравнительный анализ существующих оценочных шкал с целью поиска наиболее удобных средств количественной оценки состояния пациента при первичном поступлении и после лечения [15].

Золотым стандартом оценки функции стопы принята шкала клинической оценки заболеваний стопы и голеностопного сустава Американской Ассоциации Ортопедов Стопы и Голеностопного Сустава (AOFAS) [15]. Положительные аспекты шкалы - это наиболее распространенные, понятные при заполнении самим

пациентом позиции (вопросы об интенсивности болевого синдрома, ограничении активности, требованиях к обуви и наличии мозолей). Кроме того, в этой шкале выделяется изучение объема движений в плюснефаланговых и межфаланговых суставах и стабильности этих суставов. Шкала предложена H. Kitaoka с соавторами в 1994 году [15, 130]. Однако, Э. Пинскер и коллеги из Американской академии хирургов-ортопедов высказывают мнение, указывающее на то, что эта оценочная шкала несовершенна и не может использоваться в качестве объективного диагностического критерия оценки [15, 189]. В связи с этим необходимо дополнительно использовать и другие шкалы оценки, в частности, VAS FA. Это визуальная аналоговая шкала оценки функционального состояния стопы и голеностопного сустава (Visual Analogue Scale Foot and Ankle). Она построена по принципу визуальной аналоговой шкалы. Положительными аспектами этого метода являются наглядность, простота использования, чувствительность метода [15, 196].

Также при оценке функции стопы используется анкета MOXFQ (Manchester-Oxford Foot Questionnaire), описанная Dawson, J. и коллегами [73, 74]. Положительные её стороны: шкала была разработана специально для оценки результатов оперативного лечения ортопедических заболеваний стоп и, в связи с этим, обладает большей чувствительностью, чем неспецифические тесты, оценивающие данные параметры в нижней конечности в целом. Сравнительные исследования данной системы оценки со шкалами AOFAS и SF-36 показали, что MOXFQ является достоверной и надежной. Отрицательные стороны этой шкалы - трудности в восприятии вопросов при заполнении русскоязычной версии таблицы [15, 73, 74].

FADI (foot and ankle disability index) предназначен для оценки функции и ограничений, связанных с заболеваниями стопы и голеностопного сустава. Тест представляет собой анкету, заполняемую самим пациентом. Положительные аспекты: анкета заполняется пациентом самостоятельно в онлайн-форме на веб-сайте www.orthopaedicscore.com. Подсчет баллов производится автоматически, что экономит время и исключает возможность ошибок при расчете. Тест обладает

чувствительностью к таким параметрам, как боль и повседневная активность. Отрицательные аспекты: чувствительность теста невысока и способна только отделять пациентов от здоровых без точной локализации проблемы. Анкета, представленная в онлайн форме, существует только на английском языке, что исключает возможность ее использования большинством соотечественников без адаптации на русский язык. В анкете нет указания, в какой конкретной части стопы или голеностопного сустава локализуются патологические изменения, что, в свою очередь, усложняет интерпретацию соотношения баллов, полученных до и после хирургического лечения [15, 100].

Шкала FHSQ (foot health status questionnaire) имеет ряд положительных сторон: краткость вопросов, простота заполнения, учёт таких сопутствующих заболеваний и состояний, как сахарный диабет, ревматоидный артрит, заместительная гормональная терапия, курение и уровень образования. Анкета обладает высокой чувствительностью к таким параметрам, как боль и изменения в повседневной активности. Негативные её аспекты: субъективность ответов, отсутствие объективных критериев оценки, отсутствие вопросов, указывающих на локализацию патологического процесса [15, 70, 138].

Для обобщения данных из клиник различных стран была разработана анкета EFAS (european foot and ankle society). Основная цель её состояла в том, чтобы одновременно разработать и проверить балл EFAS для разных европейских языков, так как статистическая оценка массивных шкал на различных языках вызывает трудности в обработке и систематизации данных. Единая шкала EFAS, состоящая из шести пунктов, была успешно разработана и утверждена одновременно на семи европейских языках (русского языка в списке нет). Эта шкала учитывает боль и функцию стопы. Максимальный балл - 24 (наилучший из возможных), а минимальный балл - 0 баллов (худший из возможных). В процессе разработки шкалы сокращалось количество пунктов с 31-й позиции до окончательной формы EFAS из 6 пунктов.

Несмотря на наличие информации по ограничениям использования, шкала AOFAS в настоящее время остается наиболее распространенной формой для

оценки функционального состояния стопы и голеностопного сустава, позволяющей проводить сравнения данных различных исследований [15]. Тем не менее, в комплексной оценке состояния стопы более обоснованным, наряду с AOFAS, представляется применение и других оценочных шкал.

1.2.2. Рентгенологическая оценка тяжести HV

Традиционно тяжесть HV определяется на рентгенограммах переднего отдела стопы в дорсоплантарной и боковой проекциях с нагрузкой. Наиболее значимыми показателями являются угловые измерениям: угол HV (hallux valgus angle - HVA), первый межплюсневый угол (intermetatarsal angle - IMA), дистальный суставной плюсневый угол (distal metatarsal articular angle - DMAA), положение сесамовидных костей, первый межфаланговый угол (hallux valgus interphalangeal angle - HVIPA). Не стоит забывать об оценке медиального плюснеклиновидного сустава, который влияет на стабильность первого плюснефалангового сустава.

IMA (intermetatarsal angle - первый межплюсневый угол). На рентгенограмме с нагрузкой контрольные точки, по которым рассчитывается продольная ось плюсневых костей, располагаются в проксимальной и дистальной метафизарных областях, равноудаленных от медиального и латерального кортикального слоя первой и второй плюсневых костей. Угол, создаваемый пересечением этих осей, является углом IMA. В норме он имеет размер менее 9 градусов, при легкой деформации – до 11 градусов, при умеренной деформации - от 11 до 16 градусов, а при тяжелой деформации - более 16 градусов. Угол 1-2 IMA считается решающим углом при оценке и коррекции HV [66, 76, 191].

HVA (hallux valgus angle – hallux valgus угол). На рентгенограмме с нагрузкой оси рисуются на первой плюсневой и проксимальной фалангах таким образом, чтобы они делили пополам диафиз в проксимальной и дистальной метафизарных областях, равноудаленных от медиального и латерального кортикального слоя проксимальной фаланги и первой плюсневой кости. Угол,

создаваемый пересечением этих осей, образует HVA угол. В норме угол составляет менее 15 градусов. Легкая деформация соответствует углу менее 20 градусов, умеренная деформация - от 20 до 40 градусов, а тяжелая деформация - более 40 градусов. Угол HVA является одним из важнейших показателей деформации первого луча стопы. Совместная оценка углов IMA и HVA позволяет точно определить показания к операции, а также контролировать стабильность деформации после операции.

DMAA (distal metatarsal articular angle – дистальный плюсневый суставной угол). На рентгенограмме с нагрузкой DMAA определяет отношение дистальной суставной поверхности первой плюсневой кости к продольной оси первой плюсневой кости.

Точки располагаются наиболее медиально и латерально на дистальной суставной поверхности первой плюсневой кости. Линия, соединяющая эти точки, определяет боковой наклон суставной поверхности. Другая линия проводится перпендикулярно этой суставной линии. Угол, образованный этой перпендикулярной линией и продольной диафизарной осью первой плюсневой кости, определяет DMAA. Нормальный угол рассматривается как 6 градусов или меньше [66]. Оценка DMAA угла спорна, так как этот угол проекционный и разная методика его измерения может давать различные результаты. Frumberg, David B., и др. отметили, что DMAA не был постоянным и зависел от проекции измерения [90]. Cruz, E. P и др. отметили, что более точные наблюдения измерений DMAA можно получить при 3D-реконструкции КТ, а не при стандартной рентгенографии [69].Таким образом, несмотря на важность измерения DMAA, его оценку при устранении деформации Hallux valgus при стандартной методике измерения на двухмерной рентгенограмме нужно проводить с осторожностью [69].

HVIPA (hallux valgus interphalangeal angle – первый межфаланговый угол). На рентгенограмме с нагрузкой точки отсчета помещают в проксимальную и дистальную метафизарные области проксимальной фаланги первого пальца стопы, равноудаленные от медиального и латерального кортикального слоя, чтобы создать ось проксимальной фаланги. Точки ставят в центр основания дистальной

фаланги и на кончик дистальной фаланги, и рисуют вторую ось. Пересечение этих двух осей образует угол HVIPA. Нормальным считается угол до 10 градусов [66].

Оценка межфалангового угла важна для определения необходимости дополнительной остеотомии, так как именно комплексный подход к устранению деформации важен для достижения удовлетворительного функционального результата.

Оценка длины первого луча. Чрезмерная длина первой плюсневой кости также может быть связана с этиологией деформации HV. Munuera P.V. сообщил об исследовании 152 рентгенограмм (98 нормальных стоп и 54 стопы с HV) [176]. Было обнаружено, что чрезмерная длина первого плюсневого сегмента может быть вовлечена в развитие деформации HV. Когда стопа с длинным первым плюсневым сегментом помещается в узкую коробку пальцев или находится в фазе отталкивания во время ходьбы, давление со стороны медиальной границы коробки пальцев смещает большой палец в бок на уровне плюснефалангового сустава, вызывая деформацию HV.

Существует несколько методов измерения длин первой и второй плюсневых костей. Метод Мортона предлагает оценивать расстояние между параллельными линиями, проходящими через самые дистальные точки плюсневых костей. Метод Харди и Клэпхема использует дуги, проходящие через самые дистальные точки плюсневых костей. Такой метод стремится учитывать и угловые деформации [187].

Li, X., и др. предложили оценивать соотношение первого и второго луча по формуле EL = P1-P2-D, где определялись длина первого пальца (P1), длина второго пальца (P2), разница длин первой и второй плюсневых костей по Мортону (D) и определялась избыточность длины первого луча (EL). По результатам исследования было выявлена значимая взаимосвязь между послеоперационным P1, послеоперационным EL и рецидивом деформации HV. Понимание чрезмерной длины первого луча перед операцией может помочь улучшить результат операции [150].

Рентгенологическая оценка положения сесамовидных костей. Существуют различный оценки положения сесамовидных костей [103]. Наиболее

часто используется классификация, предложенная Yildirim и коллегами в 2005 [246]. Авторы классифицировали 4 положения медиальной сесамовидной кости относительно гребня плюсневой кости. В 0-й степени медиальная сесамовидная кость полностью медиальна по отношению к межсезамовидному гребню; в 1-й степени менее половины ширины медиальной сесамовидной кости подвывихнуто латерально. Во 2-й степени более половины ширины медиальной сесамовидной кости подвывихнуто в латеральном направлении, а в 3-й степени медиальный сесамовидная кость полностью латерализована по отношению к гребню.

Оценка первого плюснеклиновидного сустава. Проксимальная суставная поверхность первой плюсневой кости сочленяется с дистальной суставной поверхностью первой клиновидной кости, образуя первый плюснеклиновидный сустав. Эта эллиптическая вогнутая суставная поверхность ориентирована в поперечной плоскости [125, 205]. В норме она отклонена медиально, но в некоторых случаях может иметь выраженную степень наклона, что, как полагают, приводит к нестабильности сустава. Именно поэтому этот сустав трудно визуализировать на простых рентгенограммах, лучше для этого использовать трехмерные измерения с воссозданием нагрузки на стопу [88, 93, 113, 115, 124]. Рентгенографическая оценка первого плюсне-клиновидного сустава сложна и требует глубокого понимания трехмерной анатомии [18, 78, 81, 114].

Стабильность стопы в первом плюснеклиновидном суставе напрямую влияет на тактику лечения. Morton D.J. был первым, кто предложил термин гипермобильности первого луча и предположил, что как гипермобильность первого луча, так и относительное укорочение икроножной мышцы приводят к множеству нарушений функции стопы и голеностопного сустава [82]. Хотя Мортон и предположил связь между повышенной подвижностью первого луча и различными нарушениями стопы, он не связывал гипермобильность первого луча с деформацией HV, хотя первый плюснеклиновидный сустав является ключевым фактором в развитии как увеличенного угла IMA, так и увеличенного угла HVA [10]. Таким образом, ориентация и гибкость первого плюснеклиновидного сустава играют важную роль в развитии деформации [93, 207].

1.2.3. Компьютерная томография

В последние годы в литературе стали появляться научные статьи, описывающие методику компьютерной томографии с нагрузочными пробами для оценки патологии стопы [21, 163]. Так, на базе Российско-японского научно-образовательного центра был разработан метод диагностики приобретенного плоскостопия взрослых при помощи компьютерной томографии [21]. Компьютерная томография с нагрузкой является эффективным исследованием для прямого измерения параметра вращения без влияния положения первого плюснефалангового сустава [54, 60]. Компьютерная томография позволяет более детально оценить состояние стопы за счет большего количества срезов. На основе данных компьютерной томографии можно также создать виртуальную и печатную модель [194]. Таким образом, для всесторонней оценки патологии и изучения пространственных взаимоотношений костей стопы для диагностики и предоперационного планирования выполнение компьютерной томографии можно считать обоснованным и целесообразным.

1.3. Хирургическое лечение hallux valgus. Краткий обзор остеотомий

Консервативное лечение при деформации HV может быть применено при начальных стадиях и при противопоказаниях к плановой ортопедической операции. Следует сказать, что консервативное лечение не устраняет деформацию, но помогает уменьшить или устранить её симптоматические проявления [9, 20], в связи с чем нами в настоящем исследовании вопросы консервативного лечения рассматриваться не будут.

Целью адекватного хирургического лечения является нормализация анатомических взаимоотношений основных костных структур, отвечающих за правильную работу стопы в процессе функциональной нагрузки. Это, в первую

очередь, головки первой и других плюсневых костей, образующие поперечный свод стопы.

Существует множество методик [84], позволяющих проводить коррекцию деформации HV, что косвенно свидетельствует об отсутствии оптимального метода операции [12, 17, 19, 26]. В этой части обзора литературы будут затронуты основные техники остеотомии для устранения деформации HV.

1.3.1. Шевронная остеотомия

Техника дистальной шевронной остеотомии была первоначально предложена Корлессом в 1976 году [62] и описана Austin и Leventen в 1981 году [31]. Остеотомия представляет собой дистальную V-образную остеотомию. С момента первоначального описания было внесено несколько изменений в техническую часть оперативной техники, включая угол остеотомии и использование различных альтернативных методов внутренней фиксации [169]. Было внесено множество модификаций в попытке использовать эту технику для более умеренных деформаций HV. Удовлетворенность этой операцией относительно высока, при этом сообщается, что средняя коррекция HVA составляет от 12 до 15 градусов, а средняя коррекция угла IMA варьируется от 4 до 5 градусов. Сообщения о послеоперационном снижении угла открытия стопы варьируются от 3 до 6 мм после шевронной остеотомии. Zimmer и соавт. [247] опубликовали отчет об эффективности шевронной остеотомии у несовершеннолетних пациентов и сообщил о 20% частоте рецидивов. Опираясь на результаты этого исследования, можно сделать вывод, что пределы деформации для стабильно воспроизводимого результата составляют угол HVA менее 30 градусов и угол IMA менее 12-13 градусов. Расширение показаний к этой процедуре на более серьезные деформации, по-видимому, увеличивает риск неудовлетворительных результатов и осложнений. Сообщается о 50 взрослых пациентах, перенесших шевронную остеотомию дистальной части плюсневой кости по поводу деформации HV, в исследовании

[126] отметили 74% удовлетворенности, когда угол IMA был больше 12 градусов, и 94% удовлетворенности, когда угол IMA был 12 градусов или меньше. В целом, Harper [104] отметил, что тригонометрическая оценка степени коррекции варусной деформации первой плюсневой кости, достигаемой за счет латерального смещения головки первой плюсневой кости, в технике шевронной остеотомии соответствует примерно 1 степени коррекции на каждый миллиметр латерального смещения. Большая коррекция была достигнута Trnka и др. [219] и Stienstra и др. [211], которые сообщили о 18 градусах коррекции HVA. В обоих исследованиях был выполнен латеральный релиз капсулы первого плюснефалангового сустава. Stienstra и соавт. [211] сообщили, что они переместили остеотомированный фрагмент почти на 10 мм, не выявив ни одного случая замедленного сращения, несращения или аваскулярного некроза. Trnka и соавт. [219] провели ретроспективное исследование на 100 стопах, прооперированных шевронной остеотомией со смещением основного фрагмента на 3-6 мм, получив 87% хороших и отличных результатов. В последующем исследовании [220] не было отмечено ухудшения результатов или субъективного удовлетворения при 5-летнем наблюдении.

В серии из 17 пациентов и 23 стопы Манн и Донатто в своем исследовании [159] проанализировали степень коррекции HVA, IMA и положения сесамовидных костей, чтобы тщательно определить истинную коррекцию после шевронной остеотомии. Они измерили HVA и IMA, проведя линии, разделяющие пополам стержни первой и второй плюсневых костей, а затем сравнили результаты с результатами метода центра головки, который измеряет угол, образованный линией, проведенной от центра головки первой плюсневой кости и середины основания плюсневой кости, и линией, разделяющей пополам вторую плюсневую кость [67]. В методе, в котором обе плюсневые кости были разделены пополам, угол IMA до и после операции составлял 11 градусов. При методе по центру головки угол IMA составлял 9 градусов до операции и 7 градусов после операции. Когда угол HV был измерен одной линией, проходящей через продольную ось первой плюсневой кости, а другой - через проксимальную фалангу, в отличие от

одной линии, проходящей через центр головки первой плюсневой кости, результаты показали коррекцию в 5 градусов для первой и 8 градусов для второй. По сути, это демонстрирует, что степень коррекции, возможная с помощью операции шевронной остеотомии, довольно мала, что необходимо учитывать при отборе пациентов для этой процедуры.

Шевронная остеотомия имеет ограниченные возможности для коррекции вальгусной деформации с повышенным DMAA [65]. Из-за ограниченной коррекции, достигаемой с помощью шевронной остеотомии, она должна выполняться при легкой и умеренной вальгусной деформации. Chou и соавт. [57] сообщили о 14 пациентах, перенесших шевронную остеотомию по поводу легкой и умеренной вальгусной деформации, при которой была достигнута средняя 7-градусная коррекция DMAA.

Частота послеоперационного смещения основного фрагмента медиально или латерально или отклонения дорсально или плантарно может быть сведена к минимуму благодаря внутренней фиксации [31, 219], особенно у тех, для кого желательно большое смещение остеотомии.

1.3.2. Остеотомии Mitchell и Bosch

Остеотомия Митчелла представляет собой двойную субкапитальную остеотомию первой плюсневой кости в виде небольшой ступеньки со смещением фрагмента головки латерально и книзу, выполненную открытой техникой [77]. Коррекция вальгусной деформации стопы с помощью дистальной остеотомии Mitchell первой плюсневой кости была впервые описана Reverdin [195] в 1881 году, а позже и Peabody в 1931 [186], и Hohmann 1925 году [108]. Однако именно Mitchell [105, 168] описал и популяризировал технику бипланарной метафизарной остеотомии, при которой достигается боковое и подошвенное смещение основного фрагмента, а также укорочение первой плюсневой кости. Wilson [231] и другие [98, 172] описали косую метафизарную остеотомию, Bosch [46, 47] и Kramer [133], -

поперечную остеотомию, а Magnan [37, 155],- чрескожную остеотомию. Процедура Митчелла, описанная Hawkins и др. [105], представляет собой двухступенчатую остеотомию через шейку первой плюсневой кости. За прошедшие годы в эту процедуру было внесено несколько модификаций [48, 167, 172, 200] в технику остеотомии, метод внутренней фиксации, и послеоперационный уход [48, 172, 215].

Описанные изменения делают эпоним Митчелла несколько неадекватным для описания процедуры. Тем не менее, важные принципы Митчелла остаются неизменными — укорочение должно быть сведено к минимуму, следует последовательно добиваться подошвенного сгибания основного фрагмента, а иногда и ротации основного фрагмента для выравнивания дистальной суставной поверхности плюсны.

Остеотомия Bosch в принципе очень похожа на остеотомию Митчелла. По сути, это такая же остеотомия, но выполненная через маленький кожный разрез буром. Однако в последнее время ей уделяется значительное внимание[37, 155].

Сегодня остеотомия Митчелла представляет исторический интерес, однако общий опыт применения как остеотомии Митчелла, так и модифицированных остеотомий дистальной плюсневой кости по типу Митчелла показывает, что удовлетворительная коррекция достигается в 82-97% случаев. В двух самых крупных сериях Blum [41] сообщил, что 185 из 204 пациентов (91%), а Hawkins et al [105] сообщили, что 182 из 188 пациентов (97%) были удовлетворены процедурой. Средняя зарегистрированная коррекция угла HVA варьируется от 10 до 25 градусов, а средняя коррекция угла IMA варьируется от 5 до 10 градусов. Укорочение первой плюсневой кости является ключевым компонентом в достижении коррекции вальгусной деформации стопы; однако это подвергает пациента риску послеоперационной метатарзалгии [105, 184].

Чрезмерное укорочение является наиболее частой причиной болей и образования мозолей после дистальной остеотомии первой плюсневой кости для коррекции вальгусной деформации. Меркель и соавт. [165] сообщили о среднем укорочении первой плюсневой кости на 7 мм. У пациентов, у которых был угол наклона более 10 мм [41, 96, 105, 168] или подошвенное смещение [165, 240, 241]

основного фрагмента, было рекомендовано уменьшить неблагоприятные последствия укорочения первой плюсневой кости. Дорсальный угол в месте остеотомии связан с неудовлетворенностью пациента, поскольку он, как правило, усугубляет последствия укорочения первой плюсневой кости [48, 165, 240, 241].

Однако, имеется ряд потенциальных осложнений, связанных с этим методом, включая остеонекроз, несращение, неправильное сращение и рецидив. Кроме того, описывается вероятность недопустимого рецидива деформации у пациентов с деформацией HV от умеренной до тяжелой степени [109].

1.3.3. Остеотомия scarf

В 1926 году Мейер [134] сделал первое описание продольной остеотомии первой плюсневой кости Z-типа, хотя и Burutaran [52], и Gudas [249] также известны ранними описаниями этой техники. Тем не менее, Weil [45, 230] и Barouk [34–36] популяризировали эту процедуру, и именно Weil придумал название scarf [45].

Scarf - это столярный термин, который описывает соединение, выполненное путем надреза или обрезки концов двух концов дерева, а затем надежного скрепления их в один непрерывный блок так, чтобы они прилегали плотно друг к другу. Weil [230] описал три различных типа остеотомии scarf, определяемых длиной продольной остеотомии: короткая остеотомия scarf (длиной 25 мм), используемая для лечения вальгусной деформации с углом IMA 13 градусов или менее, также используемая для пациентов с более высоким DMAA [36]; остеотомия scarf средней длины для лечения угла IMA от 14 до 16 градусов; и остеотомия с длинным scarf для лечения угла IMA от 17 до 23 градусов.

Многие авторы рекомендовали использовать остеотомию scarf в сочетании с операцией на дистальных отделах мягких тканей в качестве основной процедуры для коррекции умеренной или тяжелой вальгусной деформации, хотя для этой методики был рекомендован верхний предел угла смещения 20 градусов [28, 29].

Обоснование для применения остеотомии отличается своей универсальностью: стержень первой плюсневой кости латерализуется, тем самым уменьшая угол IMA; достигается смещение для увеличения нагрузки на первый луч; плюсневая кость может быть укорочена или удлинена [230].

Сообщается, что субъективная удовлетворенность этой операцией обычно высока и колеблется от 89% до 98% [45, 68, 120, 202, 230], хотя Кундерт и Фурман [91] сообщили о рецидиве деформации в 25% случаев.

1.3.4. Остеотомия MICO (minimally invasive Chevron and Akin osteotomy)

Совсем недавно стали популярными минимально инвазивные методы из-за потенциального сокращения времени восстановления, меньшего размера рубцов и большего диапазона движений в раннем послеоперационном периоде [7, 152]. Ранние поколения этого метода подвергались критике за недостаточные доказательства его использования и высокий уровень осложнений [40].

Lucas y Hernandez и соавт в 2016 году [152] сообщили о серии случаев из 45 процедур у 38 пациентов со средним периодом наблюдения 60 месяцев. Они продемонстрировали улучшение оценки по шкале AOFAS с 62,5 до 97,1. Рентгенологические параметры включали улучшение HVA с 26,6 до 9,6 градусов и улучшение IMA с 11,8 до 7,9 градусов. Девяносто семь процентов пациентов сообщили, что удовлетворены или очень удовлетворены. Они имели осложнения в 15,5% случаев, в том числе 1 несостоятельность фиксации, 1 замедленное заживление раны, 1 болезненный остаточный экзостоз, 4 удаления винтов.

Lam и соавтв 2015 году [122] сообщили о серии из 23 случаев у 20 пациентов со средним периодом наблюдения 18 месяцев. Они продемонстрировали улучшение оценки по шкале AOFAS с 59,3 до 88,4. Рентгенологические параметры включали улучшение HVA с 31,68 до 14,39° и улучшение IMA с 13,77 до 7,98°. Их частота осложнений составила 17%, при этом 4 случая импинджмента винта проксимальной фаланги потребовали удаления. Другие вторичные результаты

включали среднее время операции 94,3 минуты и среднее пребывание в стационаре 2,6 дня. Их частота осложнений, время операции и пребывание в больнице немного выше, чем в нашем опыте; это может отражать опыт кривой обучения, включенный в их серию, и относительно небольшое количество пациентов. В их серии не сообщалось об удовлетворенности пациентов.

Сообщалось, что частота рецидивов после операции по поводу вальгусной деформации достигает 16% [143]. Magnan и соавт. [156] в 2019 году опубликовали отдаленные результаты (в среднем 9,8 года) в 35 случаях чрескожной дистальной остеотомии с временной фиксацией спицей К, демонстрируя хорошие результаты только с 1 рецидивом в 14 лет. Современная методика MICO с более прочным расположением винтов в кости может еще больше снизить этот показатель, но ее еще предстоит изучить в ревизионной хирургии.

Техника MICO это безопасный и эффективный подход к лечению вальгусной деформации. Однако требуются дальнейшие исследования, которые должны быть сосредоточены на долгосрочных результатах и сравнительных данных с другими оперативными методами.

1.3.5. Проксимальные остеотомии

Серповидная остеотомия, проксимальная шевронная остеотомия пропагандируются как средство коррекции увеличенного угла IMA без значительного изменения длины первой плюсневой кости [64]. В случае длинной первой плюсневой кости хирург может использовать длинную косую проксимальную остеотомию, чтобы избежать удлиняющего эффекта техники открывающего клина. Описано множество типов и модификаций методики [221]. Модифицированный метод Мау был предложен Гловером и соавторами [95]. Их медиальный подход аналогичен технике медиального открытого клина, описанной ранее, и в модификации используется более короткая остеотомия, чем в традиционной технике Мау.

Easley M.E. и коллеги в 1996 году [83] сравнивали проксимальную серповидную остеотомию с проксимальной шевронной остеотомией для коррекции вальгусной деформации стопы. Результаты были, по существу, одинаковыми в отношении коррекции вальгусной деформации и угла IMA и облегчения боли. Основным отличием было отсутствие дорсифлексии в месте остеотомии, что иногда отмечалось после проксимальной серповидной остеотомии, но статистически это, по-видимому, не влияло ни на частоту новых повреждений при переносе, ни на разрешение существующих повреждений.

1.3.6. Артродезы суставов

Артродез первого плюснеклиновидного сустава был введен для лечения вальгусной деформации в начале прошлого столетия [86, 132, 223]. 8 февраля 1910 года Альбрехт Г.А. впервые выполнил коррегирующий артродез первого полюснеклиновидного сустава [6], а затем эта техника была популяризирована Лапидусом [139] в 1950-х годах с акцентом на показания к коррекции вальгусной деформации, связанной с гипермобильностью первого луча. Когда Лапидус ввел эту процедуру, основное внимание уделялось только артродезу первого плюснеклиновидного сустава, которая уже была признана эффективной при дисфункции как передней, так и средней части стопы, включая вальгусную деформацию, метатарзалгии, стрессовый перелом малых плюсневых костей, и артроза средней части стопы [118, 131, 157]. С тех пор операция Лапидуса использовалась при лечении неудачных операций или рецидивирующих деформаций [85], а также при тяжелых степенях деформации стопы [11].

Добиться нормализации анатомии стопы можно множеством способов. Это различные модификации проксимальных и дистальных остеотомий, а также артродез первого плюснеклиновидного сустава. Все они так или иначе приводят к латерализации головки первой плюсневой кости. Таким образом, есть множество корригирующих остеотомий, что свидетельствует об отсутствии одной

универсальной методики. Тем не менее, на сегодняшний день многие специалисты применяют scarf, так как эта техника позволяет решить все задачи при устранении средних и лёгких степеней деформации переднего отдела стопы. Она понятна и распространена, эту технику можно тиражировать.

1.4. Корригирующая остеотомия scarf для устранения деформации Hallux valgus

Со времени первоначальной статьи Barouk L.S. в 1991 году основными преимуществами остеотомии scarf по сравнению с другими хирургическими методами были заявлены ее универсальность, раннее функциональное восстановление, сохранение движения в первом плюсне-клиновидном суставе и надежность результата в долгосрочной перспективе [13, 16, 28, 134, 174].

Обоснование этой процедуры заключается в ее универсальности: головка первой плюсневой кости латерализуется, тем самым уменьшая угол IMA; достигается подошвенное смещение для увеличения нагрузки на первый луч; плюсневая кость может быть укорочена или удлинена; а также может быть устранен DMAA до 10 градусов [28, 29, 146, 149].

Lipscombe S и его коллеги согласились с ранними выводами Barouk, по крайней мере, в среднесрочной перспективе. В их исследовании 31 стопа подверглась остеотомии scarf для лечения деформации HV. В ходе проспективного наблюдения были проведены рентгенографические и клинические оценки. Улучшение было достигнуто как рентгенологически, так и клинически через 6 недель у всех пациентов. Показатели AOFAS выявили значительное ($P < 0,01$) среднее увеличение с 47,94 до 96,10 через 12 месяцев после операции. Было показано, что это субъективное снижение симптомов сохранялось в течение 5 лет после операции в соответствии с опросником AOFAS. Как HVA, так и IMA были значительно улучшены.

В более раннем ретроспективном исследовании Crevoisier X. и его коллеги [68] подтвердили увеличение удовлетворительных результатов среди пациентов, опять же с использованием баллов AOFAS (P <0,001). Рентгенограммы с нагрузкой показали значительные изменения в HVA и IMA. Показатель Харди-Клэпхема (показатель отражает медиальное положение сесамовидных костей) также улучшился (P <0,001). Интересно, что исследователи опровергли первоначальную точку зрения Barouk о сохранении движения в первом плюснеклиновидном суставе, при этом у 7% пациентов наблюдалось снижение диапазона движений в среднем за 22 месяца наблюдения. Авторы продемонстрировали увеличение диапазона движения первого плюснефалангового сустава с 59,7 до 71,1 градусов (P <0,001). Рентгенографический анализ показал значительные изменения в HVA (от 32,5 до 6,2 градусов), IMA (от 15,5 до 6,6 градусов) и медиальном положении сесамовидных костей (P <0,001).

Раннее возвращение к работе у пациентов, перенесших остеотомию scarf, было подчеркнуто исследованием Kristen K.H. и его коллегами [134], в котором среднее возвращение к работе составляло 5,8 недели, а возвращение к спорту - 8,3 недели. Также было отмечено ранее задокументированное увеличение показателей AOFAS в передней части стопы и изменения HVA/IMA (P <0,001).

Lorei T.J. и коллеги в своем исследовании сообщили об эффективности техники scarf [151]. Послеоперационные показатели AOFAS составили в среднем 89 баллов. Дооперационные баллы для сравнения не регистрировались.

Используя метод сбора подографических данных Betts R.P. и коллеги зафиксировали изменение пикового давления в первой плюсневой головке между дооперационными и послеоперационными измерениями, хотя это не было значительным (P=5.2) [39]. Средние показатели как до операции, так и после нее находились в пределах нормы. Не было обнаружено различий между дооперационными и послеоперационными измерениями на неоперированных стопах у пациентов, перенесших односторонние процедуры. У двух пациентов было показано увеличение давления на головку первой плюсневой кости; у одного был низкий балл AOFAS, и он не был доволен результатом операции. У другого

впоследствии был удален длинный дистальный винт. Среднее улучшение на 6 и 19 градусов было отмечено в IMA и HVA соответственно. Никаких существенных изменений в DMAA отмечено не было. Диапазон движения в первом плюснеклиновидном суставе увеличился в 26% случаев.

Аналогичные улучшения в клиническом статусе, баллах AOFAS и рентгенографической оценке были показаны в нескольких публикациях, что указывает на предсказуемые и положительные результаты при исправленных остеотомией scarf деформациях HV [127, 188, 206].

В исследовании Lorei и др. после среднего наблюдения в течение 33 месяцев для оценки клинических и функциональных исходов у 32 пациентов с HV, показали, что Scarf остеотомия сокращает проявление болевого синдрома, позволяет достигнуть качественного переката стопы при ходьбе [56].

Scarf остеотомия в настоящее время широко используется для лечения деформации HV из-за присущей ей стабильности внутренней фиксацией винтами и минимального укорочения первой плюсневой кости, которое можно контролировать [208].

Кроме того, Scarf остеотомия может быть относительно безопасно выполнена у пациентов старших возрастных групп. Есть несколько исследований, которые пришли к выводу, что остеопороз не является противопоказанием для выполнения Scarf остеотомии.

Применение scarf не ограничивается взрослыми. George H.L. и его коллеги ретроспективно изучили использование методики при коррекции деформации HV у подростков, в результате чего 19 стоп были прооперированы данным способом. [94].

Через 6 недель после операции наблюдалось значительное улучшение показателей IMA, HVA и DMAA (P <0,0001). К сожалению, к среднему сроку наблюдения 37,6 месяца изменение как DMAA, так и HVA, по сравнению с предоперационными рентгенограммами, больше не было существенно значимым (P = 5,32). Изменения в IMA оставались значительными до завершения исследования. Из-за этого рецидива исследователи рекомендовали отложить

использование остеотомии scarf в качестве лечения деформации HV до достижения зрелости скелета.

John, S. и коллеги считают, что остеотомия scarf является безопасной, эффективной и универсальной процедурой для коррекции юношеской и подростковой вальгусной деформации [117].

1.4.1. Показания и противопоказания

Остеотомия scarf показана для лечения симптомной вальгусной деформации средней или тяжелой степени, характеризующейся углом IMA от 14 до 20 градусов, нормальной или слегка увеличенной DMAA [28] и адекватным запасом костной ткани [59].

Хотя, по-видимому, возрастных ограничений для процедуры нет, остеопения у пожилых пациентов может быть относительным противопоказанием. Хорошая плотность кости важна для стабильности остеотомии. Остеотомия scarf противопоказана при наличии артроза первого плюснефалангового сустава, ограниченном диапазоне движений в нём, гипермобильности первого плюснеклиновидного сустава [59, 134, 174, 222].

1.4.2. Применение дополнительных остеотомий при выполнении scarf

Полное устранение деформации с помощью единственной остеотомии плюсневой кости не всегда возможно. Высокая частота рецидивов после золированной остеотомии scarf привела к тому, что часто стала выполняется дополнительная Akin остеотомия (остеотомия проксимальногй фаланги первого пальца стопы) [5, 43]. Тем не менее, выполнение дополнительной остеотомии Akin остается решением хирурга; четкие рекомендации по показаниям к ее выполнению все еще отсутствуют, хотя некоторые авторы считают Akin остеотомию

обязательной для коррекции бурсита большого пальца стопы [127, 128, 137, 158]. Kaufmann G. и коллеги рекомендовали выполнение дополнительной остеотомии Akin при предоперационной HVIPA более 8° [123].

Остеотомия Weil — это хирургический метод, обычно используемый для лечения незначительных изменений плюсневой кости в передней части стопы. Эти остеотомии представляют собой малоинвазивные субкапитальные остеотомии II, III, IV плюсневых костей для коррекции поперечного свода стопы. В последние годы было опубликовано большое количество статей об этой методике, оценивающих ее эффективность и возможные осложнения. Однако, несмотря на то что клинические исследования показали эффективность в уменьшении боли у 80-90% пациентов, частота зарегистрированных осложнений относительно высока в некоторых сериях исследований. В статье Huerta, J. P. и коллег рассматриваются результаты клинических, рентгенологических, лабораторных и исследований кадаверов. В них можно последовательно оценить все аспекты, связанные с остеотомией Weil, особенно показания к ней, механические эффекты, модификации и возможные осложнения [110, 203].

1.4.3. Сложности остеотомии scarf и осложнения

Было показано, что метод scarf обеспечивает эффективное и воспроизводимое облегчение симптомной деформации HV даже при самых тяжелых ее степенях. Однако процедура имеет ряд «подводных камней». Об этом свидетельствуют публикации исследований Bock и др. в 2015 [43], где говорится, что остеотомия scarf была связанна с очень высокой частотой рецидивов. Однако частота рецидивов не может считаться убедительным доказательством того, что их возникновение связано с самой операцией. Существует точка зрения, что имеется проблема точного исполнения операции при освоении методики. Рецидив является распространенным осложнением, частота которого, как сообщается, колеблется от 4% до 78% [116].

Рецидив деформации. Очень часто причина рецидива деформации HV бывает многофакторной. Анатомические особенности пациента, обувь или факторы, связанные с хирургической методикой, - все они могут в комбинации привести к осложнению [192].

Хотя большинство случаев рецидивов, как сообщается, происходят в течение 1,5–2,8 лет после операции, более длительный период наблюдения, возможно, способствовал бы большей частоте выявления рецидивов [43, 116]. Ретроспективное когортное исследование Bock и др. включили 10-летнее наблюдение и сообщили о частоте рецидивов 30%; однако они определили рецидив как угол HV >20 как с проявлением симптомов, так и без него [43]. Jeuken и др. сообщили, что остеотомия scarf была связана с очень высокой частотой рецидивов [116]. Однако частота рецидивов не может считаться убедительным доказательством того, что к этому приводит сама процедура остеотомии scarf. Кроме того, Bock P и др. сообщают, что в целом исследования не проводят различия между симптомным и бессимптомным рецидивом, поэтому хирургам рекомендуется более корректно использовать терминологию для описания случаев симптомного рецидива и дифференцировать их от случаев, когда угол HVA выше нормы, но болевых симптомов у пациента нет, что идентифицируется как бессимптомный рецидив [43]. Сообщалось также, что при коррекции легких и умеренных случаев HV возможно такое потенциальное осложнение, как остаточная жесткость первого плюснефалангового сустава, которое, по данным литературы, встречается в 11%-41.7% случаев [59, 101].

Эффект «желоба». Этот эффект возникает тогда, когда кортикальные слои двух половин диафиза плюсневой кости вклиниваются в более мягкую губчатую кость [177]. При этом происходит боковое смещение дистального сегмента [144, 214]. Эффект «желоба» развивается по мере того, как кортикальный слой дорсальной половины первой плюсневой кости разрушается и вклинивается в более мягкую губчатую кость, что приводит к функциональному подъему первого луча и, со временем, к пронационному положению стопы с перегрузкой других плюсневых костей. Coetzee, J. C., и Rippstein, P. [59] сообщили, что этот процесс

может происходить как с вращением первой плюсневой кости, так и без него. Предыдущие исследования сообщали о частоте появления эффекта от 1% до 35% [58]. Эффект «желоба» вызывает дорсифлексию первого луча и может привести к метатарзалгии сустава или перегрузке. Чтобы избежать этого осложнения, остеотомия должна проводиться в метафизарной губчатой кости с верным положением ее плоскости.

Данный эффект был хорошо описан Coetzee, также были предложены решения о том, как его избежать [59]. Coetzee нашел чрезвычайно важным создать короткие плечи остеотомии (3 мм). Дистальное плечо остеотомии должно проходить достаточно близко к суставу, чтобы избежать эффекта погружения кортикального гребня в мягкую интрамедуллярную губчатую кость. Другие авторы также описали модификации метода, позволяющие избежать этого осложнения [177].

Эффект «желоба» особенно актуален при работе с остеопорозными костями. Murawski и др. описали метод, где применялось пересечение осей дистального и проксимального плеча остеотомии первой плюсневой остеопорозной кости, чтобы предотвратить эффект желоба [177]. Таким образом обеспечивается адекватное кортикальное пересечение и тем самым устраняется линейное перекрытие между кортикальными слоями первой плюсневой и более мягкой губчатой кости. Однако такой метод ограничивает коррекцию IMA.

Стресс перелом. Это осложнение обычно происходит в проксимальном отделе плюсневой кости в области поперечного разреза. Если оставшийся дорсальный кортикальный слой слишком тонкий, то может произойти стрессовый его перелом. Кроме того, стрессовый перелом обычно является следствием неправильного направления остеотомии. Чем дорсальнее проксимальная вершина остеотомии, тем тоньше дорсальный костный мост. Это увеличивает риск стрессового перелома. Основываясь на своем предыдущем опыте, Newman AS и др. [180] сообщили, что частота стрессовых переломов достигает 3%. В частности, во время кривой обучения чаще встречаются осложнения, такие как эффект желоба и стрессовый перелом [28]

Аваскулярный некроз. Процедура scarf требует обширного воздействия на кости и потенциально может нарушить подошвенное кровоснабжение головки плюсны, что увеличивает риск ее некроза [44]. Это осложнение после остеотомии scarf описывается редко. Согласно данным литературы, из 3521 пациента, которым была выполнена scarf остеотомия, только у 6-ти развился аваскулярный некроз головки как осложнение [28].

Таким образом, метод scarf остеотомии не приводит к клинически значимой частоте некроза головки первой плюсневой кости.

Снижение объема движений первого плюснефалангового сустава. Есть сообщения, что уменьшение диапазона движений в первом плюснефаланговом суставе происходит реже, чем при других остеотомиях, возможно, это происходит из-за возможности раннего выполнения упражнений. Crevoisier et al сообщили, что 65% пациентов в их серии исследований имели снижение объема движений. Авторы полагали, что это связано с неправильной длинной первого луча [68].

Техника остеотомии scarf обеспечивает эффективное и воспроизводимое облегчение симптомной деформации HV даже при самых тяжелых ее степенях. Однако процедура имеет ряд «подводных камней». В первую очередь это связано с техникой выполнения остеотомии. Об этом свидетельствуют публикации исследований, где говорится, что остеотомия scarf была связанна с очень высокой частотой рецидивов. Однако частота рецидивов не может считаться убедительным доказательством того, что их возникновение связано с самой операцией. Существует точка зрения, что имеется проблема точного исполнения операции при освоении методики, что требует изучения методов, помогающих в ее освоении. Проблема корректности выполнения опилов может быть решена двумя способами: применение навигационных устройств и повышение квалификации хирурга. Наиболее доступный и адекватный вид навигации – это применение шаблонов-направителей с применением технологии трехмерной печати, о чём будет изложено далее.

1.5. Современные возможности трехмерной печати в травматологии и ортопедии

Первое использование технологии трехмерной печати приписывают Чарльзу Халлу (которую он назвал "стереолитографией") в начале 1980-х годов [92]. Халл, имеющий степень бакалавра в области инженерной физики, позже основал компанию 3D Systems, которая разработала первый в мире 3D-принтер, назвав его "стереолитографическим аппаратом" [50, 238]. Эта технология описывает и создаёт трехмерные объекты, конструируя их слой за слоем. В этом заключается принципиальное отличие этого процесса от традиционных фрезерования или токарной обработки, при которых заготовки формируются в некотором смысле путем удаления избыточного материала.

Практическое применение новой технологии началось в автомобилестроении, а также в аэрокосмической промышленности. В этих отраслях 3D-печать уже давно используется в области «быстрого прототипирования» в разработке и в производстве определенных компонентов. На сегодняшний день технология применяется и во многих других отраслях, в том числе и в различных областях медицины, где существует множество сфер, в которых процедуры трехмерного моделирования и печати обещают улучшения результатов лечения. Наиболее целесообразно использование трёхмерной печати в диагностике и лечении сложных случаев, особенно в области травматологии и ортопедии, где важно определение пространственных взаимоотношений частей скелета, пострадавших в результате травмы или заболевания. В подобных случаях технология трехмерной печати может обеспечить значительный прогресс в понимании, планировании и проведении реконструктивных операций благодаря точному воспроизведению патологических изменений в трехмерном пространстве. Доказательством этого является то, что интерес к трехмерной печати и публикационная активность, охватывающая этот раздел в травматологии и ортопедии, значительно возросли за последнее время [229]. Это, в частности, объясняется тем, что методы 3D-печати

могут не только создавать модели, которые дают лучшее понимание сложной анатомии и патологии пациентов [160], но также могут помогать созданию индивидуальных инструментов для каждого конкретного пациента [51, 97, 216, 234] или даже индивидуальных имплантатов [32, 87].

1.5.1. Моделирование для индивидуального проекта

Термин «индивидуальное моделирование» часто используется, однако не имеет четкого определения. Хирург-ортопед может интуитивно относиться к этому как к уникальной геометрии кости, которая оценивается с помощью различных методов визуализации[4]. Другие факторы, такие как свойства материала, конструкция ортопедических имплантатов или сила, действующая на отдельного пациента, могут быть учтены при принятии решения в определении тактики лечении «для индивидуального проекта». В биомедицинской инженерии индивидуальное моделирование (ИМ) — это разработка компьютерных моделей области с измененной анатомией пациента, адаптированных к данным индивидуального проекта [178]. ИМ привлекает все больше внимания из-за его потенциала в оптимизации индивидуального лечения путем прогнозирования результатов хирургических вмешательств.

1.5.2. Методы печати и принципы технологии

Получение изображения для создания 3D-объектов. Для анализа клинической ситуации индивидуального проекта в программной среде необходимо получить точные данные медицинской визуализации. Современные многорядные детекторы компьютерной томографии (МДКТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) обеспечивают быстрое и точное получение трехмерных изображений с высоким разрешением. С помощью инструментов постобработки

изображений можно создавать многоплоскостные переформатированные 2D-изображения и 3D-изображения анатомии пациента. Техника преобразования цифровых данных лучевой диагностики в трехмерный физический объект была подробно описана в статье Rengier и коллег [194]. Преобразование состоит из трех последовательных этапов: 1) получение изображения, 2) постобработка изображения и 3) 3D-печать.

Для создания трехмерных объектов требуется высокое качество выполнения МРТ и компьютерной томографии (КТ). КТ как метод визуализации в травматологии и ортопедии является предпочтительным в случаях, когда кости являются областью интереса для визуализирующего исследования. Важно и то, что МСКТ (мультиспиральная компьютерная томография) может производить аксиальное изображение тонкого среза с толщиной среза менее 1 мм. Эти КТ-изображения с высоким разрешением идеально подходят для облегчения постобработки изображений для программ обработки трехмерной среды [71].

Преимущество МРТ заключается в том, что во время получения изображения отсутствует облучение. Этот метод превосходит КТ в визуализации анатомии мягких тканей, таких как суставной хрящ при заболеваниях суставов и интрамедуллярное или мягкотканое распространение процесса при костных опухолях. Однако получить тонкие МР-срезы толщиной 1-2 мм для постобработки изображения сложнее, так как на качество МРТ-изображения могут отрицательно влиять артефакты движения, возникающие при длительном сканировании. Поэтому постобработка данных в программном обеспечении в основном основана на КТ-изображениях, дополненных информацией о тканях, полученных при МРТ-исследовании. Все полученные изображения сохраняются в формате цифровых изображений и связи в медицине Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), который является международным стандартом для хранения, обмена и передачи данных лучевой диагностики [233].

Постобработка изображения. Постобработка изображения – это важнейший этап подготовки объекта к печати. Несмотря на то, что качество данных, полученных из формата DICOM, является ключевым фактором для определения

качества создаваемого объекта, это формат еще не готов к непосредственной печати. Во-первых, инженер должен обнаружить дефекты сегментации и исправить их, во-вторых, для принтера нужен свой формат файла – StereoLithography, STL формат. Программное обеспечение для постобработки изображений извлекает изображения DICOM для реконструкции данных. Программное обеспечение для автоматизированного проектирования (ПОАП) преобразует контур 3D-модели в серию многоугольников, обычно треугольников, число которых напрямую связано с исходным разрешением, именно тут и важно качество изображения DICOM. Дальнейшее редактирование файлов STereoLithography (STL), например, оптимизация треугольных сеток или модификация геометрии объекта, может быть выполнено до того, как данные ПОАП будут отправлены на машину 3D-печати для изготовления объекта. Грамотная работа с треугольными сетками предотвращает ошибки принтера, который будет проводить печать объекта [218].

Трехмерная печать. Программное обеспечение ПОАП анализирует файл STL, представляющий изготавливаемую 3D-модель, и «разбивает» модель на ряд слоев поперечного сечения. Затем машина для 3D-печати изготавливает физическую 3D-модель, добавляя последовательные слои материала для воссоздания виртуальных поперечных сечений. Технологии 3D-печати, используемые в медицине, можно классифицировать по способу изготовления. В основном это стереолитография (SLA), моделирование методом наплавления (FDM), селективное лазерное спекание (SLS) или электронно-лучевое плавление (EBM). В SLA-печати объект создается путем селективного отверждения полимерной смолы, слой за слоем, с использованием ультрафиолетового (УФ) лазерного луча. Материалы, используемые в SLA-печати, представляют собой светочувствительные термореактивные полимеры, которые доступны в жидкой форме. Технология твердотельной 3D-печати FDM работает путем экструзии небольших шариков расплавленных термопластичных материалов из небольшого сопла, которые впоследствии затвердевают, образуя слои. Технология 3D-печати SLS или EBM на основе порошка включает использование сфокусированного лазерного или электронного луча для выборочного сплавления мелких частиц

пластика или металла на поверхности порошкового слоя. Сфокусированная энергия сканирует каждый слой в соответствии с поперечным сечением, созданным из файла STL изготовленного трехмерного объекта. Порошковый слой уменьшается на один слой после сканирования каждого поперечного сечения. Затем сверху наносится новый слой материала, и процесс повторяется до тех пор, пока изготовление не будет завершено. В отличие от других технологий 3D-печати, таких как SLA и FDM, которые требуют специальных опорных конструкций для изготовления нависающих конструкций, SLS или EBM не требуют опор, поскольку создаваемая модель все время окружена неспеченным порошком.

Стереолитография (SLA) это также технология, с помощью которой возможно печатать просветы полых сосудов, которые не заполнены твердым несущим материалом. Моделирование методом наплавления (FDM) – это наиболее часто используемая технология, которая широко используется исследователями в 3D-печати с медицинскими целями. Она, в частности, применяется для быстрого протопирования, например, при создании модели определенной кости. Селективное лазерное спекание (SLS) и электронно-лучевое плавление (EBM) широко используются для 3D-печати имплантатов, фиксаторов, индивидуальных инструментов и направителей [170].

1.5.3. Анатомические модели для хирургического планирования

Физические модели костей пациента могут быть воссозданы на основе данных компьютерной томографии пациентов с помощью 3D-печати. Модели не только позволяют хирургам тактильно и визуально понимать анатомию и патологию индивидуального клинического случая, но также предвидеть трудности и различные варианты хода предстоящей операции, которые помогут в планировании травматологического или ортопедического хирургического вмешательства. Особенно полезно применение трехмерных физических моделей при хирургическом лечении сложных внутрисуставных переломов и их

последствий, таких, как переломы вертлужной впадины [49, 112, 129, 182]. Использование этой технологии помогает лучше понять подобные переломы и намного более качественно их классифицировать [226].

Технология 3D-печати позволяет также осуществить моделирование металлоконструкции с возможностью изменить её пространственную конфигурацию для соответствия формы имплантата форме кости конкретного пациента до выполнения операции [112].

Индивидуальные модели для каждого конкретного пациента, напечатанные на 3D-принтере, также можно стерилизовать, чтобы хирург мог манипулировать ими во время выполнения операции. Это может помочь интраоперационному пониманию измененной анатомии и позволяет значительно лучше ориентироваться в тканях в ходе сложных операций, таких, как резекция костных опухолей [112].

1.5.4. Индивидуальные инструменты

Технология 3D-печати позволяет также производить индивидуальные инструменты для каждого конкретного клинического случая. Индивидуальные инструменты уже используются в травматологии и ортопедии. Например, есть данные применения технологии для оптимизации предоперационного планирования периацетабулярной остеотомии при дисплазии тазобедренного сустава [30, 147] и для прогнозирования результатов корректирующей хирургии при сколиозе [136, 228] и костной реконструкции с помощью индивидуального имплантата после сложной резекции опухоли таза [235]. Сообщалось об использовании индивидуальных направителей для введения транспедикулярных винтов при операциях на позвоночнике в шейном или грудном отделе [154], при выполнении сложных остеотомий с коррекцией деформации при неправильном сращении переломов [171, 216], при тотальном эндопротезировании коленного и тазобедренного суставов [51, 102, 181]. Кроме того, применение подобной

практики было описано в хирургии опухолей костей. Это способствовало точности резекции кости при удалении пораженного опухолью участка [97] и максимально качественному замещению костного дефекта индивидуальным имплантом [234, 235].

Тем не менее, при использовании индивидуальных инструментов возможны различные технические трудности. Одним из ограничений применения индивидуальных инструментов является риск их неправильного размещения на поверхности кости. Кость должна иметь достаточно выступов или неровностей для надежной фиксации инструмента. Кроме того, точная сегментация кости из набора данных предоперационного изображения (КТ или МРТ) важна для отображения реальной анатомии кости для дизайна инструментов. При проведении операции эндопротезирования тазобедренного сустава такими неровностями являются остеофиты [135]. Неточно установленный инструмент может привести к искажению заранее верно рассчитанных параметров операции. Очевидно, что точное интраоперационное размещение индивидуальных инструментов зависит, главным образом, от субъективного ощущения хирургами. При этом данные о том, насколько площадь контакта с костью достаточна для последовательного позиционирования индивидуальных инструментов, на сегодняшний день отсутствуют [234]. Не определены также возможные интраоперационные методы количественной проверки правильного позиционирования индивидуальных инструментов [135]. Тем не менее, известно, что для достижения точной установки индивидуальных имплантатов хирургам могут потребоваться дополнительные направляющие инструменты, [235] или компьютерная навигация [232] для воспроизведения тех же плоскостей резекции, которые запланированы в программном обеспечении для проектирования, что в значительной степени усложняет оперативное вмешательство и увеличивает время его проведения.

Необходимо сказать о том, что альтернативой индивидуальных инструментов – направителей является методика компьютерной навигации. Каждая их этих технологий имеет свои плюсы и минусы. Так, методы компьютерной навигации требуют громоздкого навигационного оснащения. С этих позиций печатные

индивидуальные инструменты имеют теоретическое преимущество, которое заключается в повышении хирургической точности без увеличения времени операции и без отвлечения внимания от операционного поля. С другой стороны, технология 3D-печати тоже требует специального оснащения, а также времени для производства индивидуальных моделей перелома, инструментов и имплантатов, что ограничивает применение методики в экстренной хирургии. В отличие от техники операции, выполняемой с помощью компьютерной навигации, метод использования индивидуальных инструментов не имеет интраоперационной визуальной обратной связи предоперационных изображений, которая может выявить ошибки [145, 237]. Тем не менее, очевидно то, что в рутинной клинической практике при производстве стандартных операций с отработанной техникой их выполнения использование индивидуальных инструментов нецелесообразно. Это доказывают два недавних мета-анализа, которые не подтвердили эффективность рутинного использования индивидуальных инструментов при тотальном эндопротезировании коленного сустава, поскольку не было показано, что они обеспечивают более высокую точность по сравнению с использованием обычных ручных инструментов [55, 226].

Аналогична ситуация и в использовании индивидуальных имплантатов. Изготовленные промышленным образом имплантаты стандартных размеров и формы изготавливаются с использованием традиционных методов производства. Они позволяют качественно выполнить большинство хирургических операций в травматологии и ортопедии. Однако существует небольшая доля пациентов, для которых стандартные конфигурации имплантатов не являются оптимальными. Именно в этих случаях показано производство индивидуальных имплантатов, основанное на конкретных данных лучевой диагностики пациента. Такие имплантаты могут быть показаны, когда отсутствуют стандартные размеры, необходимые пациенту, требуется замещение нестандартного дефекта кости, например при резекции костной опухоли, а также необходима более качественная адаптация имплантата к анатомическим особенностям пациента [194]. Действительно, имплантаты для устранения дефекта после удаления опухоли,

напечатанные на 3D-принтере, могут быть идеальным реконструктивным решением, поскольку их можно привести в соответствие различным формам костных дефектов после резекции опухоли. Эффективность подобной практики была показана при реконструкции опухолей ключицы, лопатки, костей таза [87, 235].

Хотя потенциальные клинические характеристики изготовленных на заказ имплантатов, напечатанных на 3D-принтере, привлекают внимание благодаря их способности решать реконструктивные проблемы, которые выходят за рамки стандартных имплантатов, следует отметить ограничения этой новой технологии. Проблемы включают высокую стоимость имплантатов, время, необходимое для проектирования и производства, чтобы уложиться в сроки хирургического вмешательства, отсутствие интраоперационной гибкости и трудность достижения точной установки имплантата [232]. Последнее обстоятельство наглядно иллюстрирует работа Baauw M. и коллег в 2015 году [32], в которой сообщается о результатах лечения шестнадцати пациентов с большими дефектами вертлужной впадины, которые подверглись ревизионному эндопротезированию тазобедренного сустава с использованием индивидуальных трабекулярных титановых имплантатов, напечатанных на 3D-принтере. Имплантаты были разработаны на основе детального анализа КТ-изображений пациентов с особым вниманием к качеству костной ткани и геометрии кости дефектной вертлужной впадины. Имплантат состоял из пористого аугмента и каркаса, воссоздававшего искусственную вертлужную впадину. В конструкцию были добавлены фланцы для оптимальной винтовой фиксации к оставшейся тазовой кости. Для предоперационной подготовки и во время операции были предоставлены вспомогательные средства и инструменты, такие как физические модели половины таза, напечатанные на 3D-принтере, пробные имплантаты и шаблоны для сверления. Авторы сообщают о трудностях с точной установкой индивидуальных имплантатов в соответствии с планом в 7 случаях из 16, когда имплантаты были признаны неправильными в одном или нескольких параметрах измерения [32].

Процесс производства индивидуальных имплантатов требует времени. Тем не менее, благодаря достижениям в программном обеспечении для компьютерного дизайна и технологии 3D-печати, инженеры-биомедики и производители имплантатов могут интегрировать весь процесс планирования от обработки данных 3D-изображения до изготовления сложных индивидуальных имплантатов благодаря тесному сотрудничеству с хирургами. Таким образом, время изготовления имплантата может быть сокращено. Однако, технологические процессы последующей обработки, такие как отделка поверхности и очистка металлического порошка в каркасной решетке, не позволят сократить время производства индивидуальных имплантатов существенно. Кроме того, стерилизация имплантатов, изготовленных из материалов, не устойчивых к высокой температуре, может стать серьезной проблемой для интраоперационного их использования [236].

Очевидно, что первоначальная стоимость у индивидуальных имплантатов выше, у готовых конструкций. Тем не менее, 3D-печать может создавать индивидуальные имплантаты со структурной геометрией, которая была бы невозможна при использовании традиционной техники промышленного производства, независимо от затрат. Кроме того, потенциально отличные долгосрочные характеристики индивидуальных имплантатов могут снизить количество дорогостоящих ревизионных операций. Таким образом, необходимо проводить оценку стоимости с учетом общих затрат на предоперационное планирование, дизайн и изготовление имплантата, выполнение хирургических операций и долгосрочные клинические результаты. [232].

1.5.5. Применение 3D-печати в травматологии и ортопедии

Сегодня для предоперационного планирования операций остеосинтеза внесуставных переломов рутинно используются стандартные 2D – рентгенограммы. При внутрисуставном характере перелома или подозрении на

него общепринятым стандартом диагностики является компьютерная томография. При этом для качественного предоперационного планирования необходимо изучение фронтальных, сагиттальных и коронарных срезов, а также 3D изображения [53].

В последнее время всё чаще в дополнение к обычной рентгенографии и КТ для предоперационного планирования и выполнения операции хирурги используют технологии 3D-печати. Xiong, Liang; Li и коллеги в 2019 году [244] провели мета-анализ, где были включены четыре рандомизированных контролируемых исследования, четыре ретроспективных сравнительных исследования и два проспективных сравнительных исследования с участием 521 пациента. По сравнению с традиционной хирургией хирургия с помощью 3D-печати приводит к более короткой продолжительности операции ($p<0,001$), меньшей интраоперационной кровопотере ($p<0,001$) и меньше интраоперационных рентгеноскопий ($p<0,001$). Однако хирургия с помощью 3D-печати приводит к более длительному пребыванию в стационаре ($p = 0,03$). Не было получено значимых результатов в отношении времени заживления переломов, частоты отличных и хороших результатов, анатомической репозиции и осложнений.

Dong-Peng Tu и коллеги в 2021 году сравнили клинические результаты 3D печати в сочетании с открытой репозицией и внутренней фиксацией (Open Reduction Internal Fixation, ORIF) с традиционной ORIF при лечении переломов вертлужной впадины. По сравнению с традиционной ORIF, 3D-печать в сочетании с ORIF имеет определенные преимущества в том, что 3D-печать не только помогает хирургам лучше понимать переломы вертлужной впадины, но и эффективно сокращает время операции, интраоперационную кровопотерю, время интраоперационной рентгеноскопии и долю послеоперационных осложнений. Тем не менее, не было никаких существенных различий между группами в функции тазобедренного сустава по шкале Matta в конце срока наблюдения [224].

Linzhen Xie и коллеги в 2018 году провели мета-анализ оценки влияния технологии трехмерной печати на ORIF переломов плато большеберцовой кости на основе 11 рандомизированных контролируемых и 6 проспективных сравнительных

исследований. Мета-анализ показал, что существуют значительные различия во времени операции, интраоперационной кровопотере и времени сращения кости между группой 3D и традиционной группой. Что касается осложнений и восстановления функции в последующем, оцененных по показателям «отлично» и «хорошо» по шкалам HSS (hospital for special surgery) и Rasmussen, достоверных различий обнаружено не было [243].

Также всё чаще технологии 3D – печати используются для изготовления индивидуальных шаблонов-направителей для выполнения остеотомий. Так, Gareth G Jones и коллеги в 2018 году показали предварительные результаты высокой остеотомии большеберцовой кости с использованием шаблона-направителя. Авторы полагают, что инструменты, предназначенные для конкретного пациента, в руках опытных хирургов позволяют увеличить точность в сравнении с традиционными подходами. Авторы говорят о том, что 3D-планирование и специфичное для пациента оборудование также облегчают многоплоскостную угловую коррекцию, что особенно сложно при использовании обычных методов. Реальным испытанием, считают авторы, будет то, сможет ли специфическое для пациента оборудование обеспечить аналогичный уровень точности хирургами, осваивающими методику [119].

Peng Yang и коллеги в 2016 году выполняли остеотомии с помощью 3D-печати при неправильном сращении перелома латерального мыщелка плато большеберцовой кости. По результатам исследования разница между предоперационной и послеоперационной оценкой по шкале Rasmussen была статистически значимой ($p<0,05$). У всех больных достигнуто улучшение функциональных результатов. Авторы полагают, что технология 3D-печати помогает точно спланировать операцию остеотомии, снизить риск рецидива послеоперационной деформации, уменьшить интраоперационную кровопотерю, сократить время операции и может положительно повлиять на клинические результаты [245].

Francisco B. Sobrón и коллеги в 2021 году использовали 3D-печать хирургического шаблона для остеотомии средней части стопы полой стопы.

Авторы утверждают, что индивидуальные 3D-печатные направители помогают хирургу свести к минимуму ятрогенные ошибки, повышая интраоперационную точность, одновременно сокращая время операции и интраоперационное рентгеновское облучение [209].

João Carlos Belloti и коллеги в 2021 году в своем исследовании отметили, что корригирующая остеотомия путем планирования с 3D-печатью является эффективным методом лечения симптоматических нарушений сращения дистального отдела лучевой кости. Возможность предоперационного выполнения остеотомии на 3D-модели делает процедуру более предсказуемой [38].

1.5.6. Применение 3D-печати в образовании

Трехмерное моделирование так начинает применяться в процессе обучения мануальным навыков хирургом. На сегодняшний день печатные модели широко используются в различных областях здравоохранения. Тренажер способен создать безопасную, надежную и контролируемую среду для обучающегося, чтобы практиковаться в неспешной атмосфере без риска для пациента. Также важным аспектом трёхмерного моделирования является, что можно создать индивидуальный случай, наиболее интересный для проведения образовательного процесса [173].

Uygur E. и коллеги [225] в исследовании в 2020 году отмечают, что 3D-моделирование с созданием печатной модели деформаций стопы более информативно, чем виртуальные 3D-моделирование. Однако, учитывая затраты и длительное время обработки, 3D-печать может быть оптимально использована для редких деформаций. При рассмотрении роли сенсорного восприятия в обучении хирургии 3D-моделирование дает более подробное и более эффективное планирование, чем виртуальные моделирование. 3D-моделирование с помощью печати более полезно для молодых хирургов, и в будущем оно будет использоваться в основном для обучения.

Lim P.K. и коллеги в своем исследовании в 2018 году [148] изучили возможность применения 3D печатных моделей для улучшения понимания переломов вертлужной впадины и быть ценным дополнением к обучению ординаторов травматологов-ортопедов. По результатам исследования 3D-модели повысили точность идентификации переломов вертлужной впадины по сравнению с рентгенографией. Кроме того, ординаторы могли использовать 3D-модели для получения аналогичной точности компьютерной томографией. Авторы пришли к выводу, что включение 3D-моделей может быть важным дополнением к обучению в ординатуре по травматологии и ортопедии для оценки сложных моделей переломов.

Weidert S. и коллеги в 2019 году [229] сообщили предварительные результаты своего исследования. В нем авторы показывают, что понимание и классификация переломов могут быть улучшены при обучении студентов-медиков. Особенно интересно использование моделей реальных переломов в натуральную величину и тактильных ощущений для обучения. Даже опытные хирурги демонстрируют улучшенную классификацию и планирование лечения с помощью 3D-печатных моделей по сравнению с обычными данными компьютерной томографии. Особенно при сложных суставных переломах, таких как переломы вертлужной впадины и плато большеберцовой кости, первоначальные данные свидетельствуют о преимуществах для пациентов с точки зрения сокращения времени операции и кровопотери с помощью 3D-моделей. Использование 3D-печати на месте в больнице представляет особый интерес для ортопедической и травматологической хирургии, поскольку это обещает обеспечить продукцию в течение короткого времени.

Появление технологий обработки изображений и 3D-печати открывает множество возможностей для индивидуальных проектов в травматологии и ортопедии. Они полезны, например, для создания анатомических моделей для предоперационного планирования в случаях сложных внутрисуставных переломов, а также последствий травм в виде неправильно сросшихся переломов

или дефектов кости. Кроме того, перспективным является применение индивидуальных шаблонов-направителей для производства остеотомий при выполнении ортопедических операций коррекции деформаций различной этиологии и эндопротезировании суставов. Ещё одно направление развития – это использование и индивидуальных имплантатов, напечатанных на 3D-принтере. Незаменима также технология 3D – печати в обучении хирургов. Несомненно, что её широкое внедрение позволит улучшить качество выполнения операций молодыми хирургами, осваивающими методику.

Однако, ограничения, включая необходимость специального оборудования и расходных материалов, высокую стоимость инструментов и имплантатов, длительное время их производства и отсутствие интраоперационной гибкости, должны также учитываться. Дальнейшее развитие технологии 3D-печати с одновременным объективным изучением клинической эффективности технологии, позволит свести к минимуму имеющиеся её недостатки и определит её место в практической травматологии и ортопедии.

Таким образом, можно предположить, что возможности применения технологии трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя для устранения лёгких и средних деформаций переднего отдела стопы HV будут способствовать более качественному выполнению остеотомии за счет корректно выполненных опилов. Это позволит хирургу значительно быстрее освоить это технику и улучшить навыки выполнения операции.

1.6. Резюме

Как показал анализ современной научной литературы, деформация переднего отдела стопы Hallux Valgus является многофакторной патологией и заключается как в нарушении нормальной костной анатомии, так и в изменениях окружающих мягких тканей. Целью адекватного лечения является нормализация анатомических взаимоотношений основных костных структур, отвечающих за правильную работу

стопы в процессе функциональной нагрузки. Это, в первую очередь, головки первой и других плюсневых костей, образующие поперечный свод стопы. Добиться нормализации анатомии стопы можно множеством способов. Это различные модификации проксимальных и дистальных остеотомий, а также артродез первого плюснеклиновидного сустава. Все они так или иначе приводят к латерализации головки первой плюсневой кости. Анализ мирового опыта показал, что наиболее часто при коррекции используется остеотомия scarf. Философия этой методики понятна, она относительно проста в исполнении, позволяет добиться стабильной фиксации остеотомированных фрагментов. Кроме того, эта операция является стандартной процедурой и после этапа обучения может тиражироваться хирургом с хорошим качеством. Вопрос заключается в том, как быстро начинающий хирург сможет овладеть методикой выполнения операции. Интересно также и то, насколько современные аддитивные технологии, широко применяющиеся в других областях ортопедии, могут быть востребованы в хирургии деформаций переднего отдела стопы и насколько они будут способствовать улучшению клинических результатов выполнения операции хирургом, осваивающим методику остеотомии scarf.

Ответам на эти вопросы и будет посвящено настоящее экспериментально-клиническое исследование.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Структура и общая характеристика диссертационного исследования

Диссертационное исследование состояло из двух частей: экспериментальной и клинической. Обе части исследования находились в логической связи и взаимно дополняли друг друга.

Экспериментальная часть включала в себя несколько этапов. Сначала была проведена разработка метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести. Затем 54 пациентам была выполнена мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ, подробное описание исследование указано в разделе «2.3.5.2 Рентгенологический метод исследования» текущей главы). Исходя из данных МСКТ, была выполнена виртуальная модель стопы, на основании которой согласно разработанному методу трехмерного планирования проводились вычисления планируемой коррекции деформации с целевым расчетом углов IMA и HVA, а также производилась проектировка индивидуального шаблона-направителя для проведения остеотомии первой плюсневой кости. Затем, после выполнения всех расчетов, производилась печать индивидуальной модели стопы с исходной деформацией и индивидуального направителя для выполнения остеотомии первой плюсневой кости у каждого конкретного пациента. После этого на распечатанных пластиковых моделях осуществили коррекцию деформации с использованием индивидуальных шаблонов-направителей с последующей фиксацией остеотомированных фрагментов безголовчатыми компрессирующими винтами. После проведения коррекции, проводили рентгенологическое исследование с подсчетом углов IMA и HVA после операции на пластиковых моделях. Полученные результаты измерений сравнивали с запланированной коррекцией на виртуальной модели. Схематично структура экспериментальной части исследования изображена на рисунке 2.1.

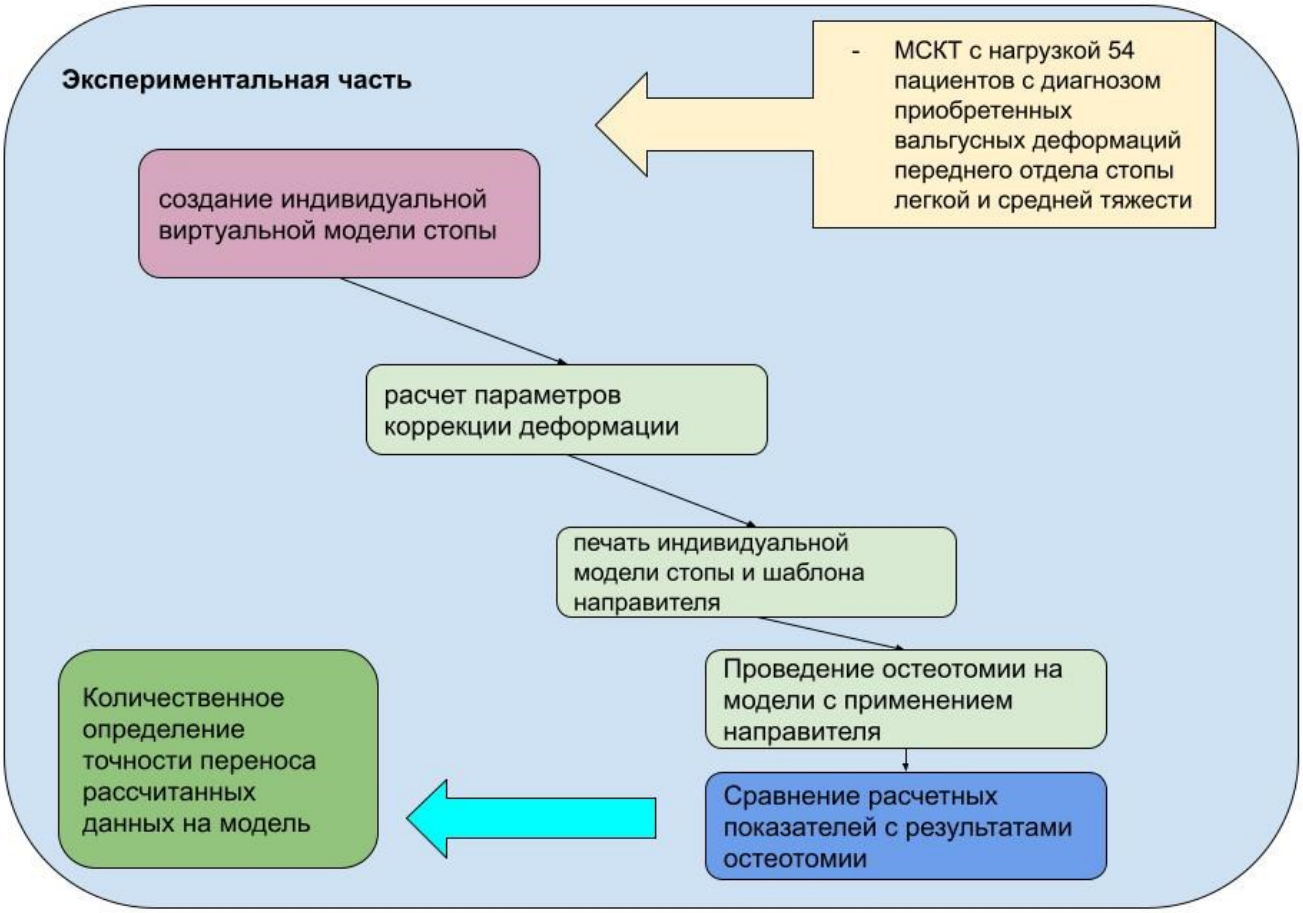


Рисунок 2.1. Структура экспериментальной части диссертационного исследования.

Клиническая часть исследования была разделена на 4 этапа. Все исследование было выполнено на основании изучения клинических и рентгенологических данных пациентов с приобретённой деформацией переднего отдела стопы HV лёгкой и средней степеней тяжести, проходивших лечение в травматологическом отделении №2 Клиники высоких медицинских технологий СПбГУ с апреля 2018 года по июнь 2021. Всего в клиническое исследование было включено 367 пациентов.

На первом этапе клинического исследования была исследована точность переноса результатов предоперационного планирования, выполненного в виртуальной среде и результатов коррекции деформации на печатной пластиковой модели, результатам реально выполненной операции с применением индивидуальных шаблонов-направителей. Для этого были выполнены операции 54

пациентам, которым в ходе экспериментальной части исследования проводилось виртуальное планирование и создание индивидуальных печатных моделей и шаблонов-направителей. Полученные результаты коррекции сравнивались с результатами планирования в виртуальной среде и результатами, полученными после остеотомии на индивидуальных пластиковых моделях с использованием индивидуальных шаблонов-направителей (Рисунок 2.2).

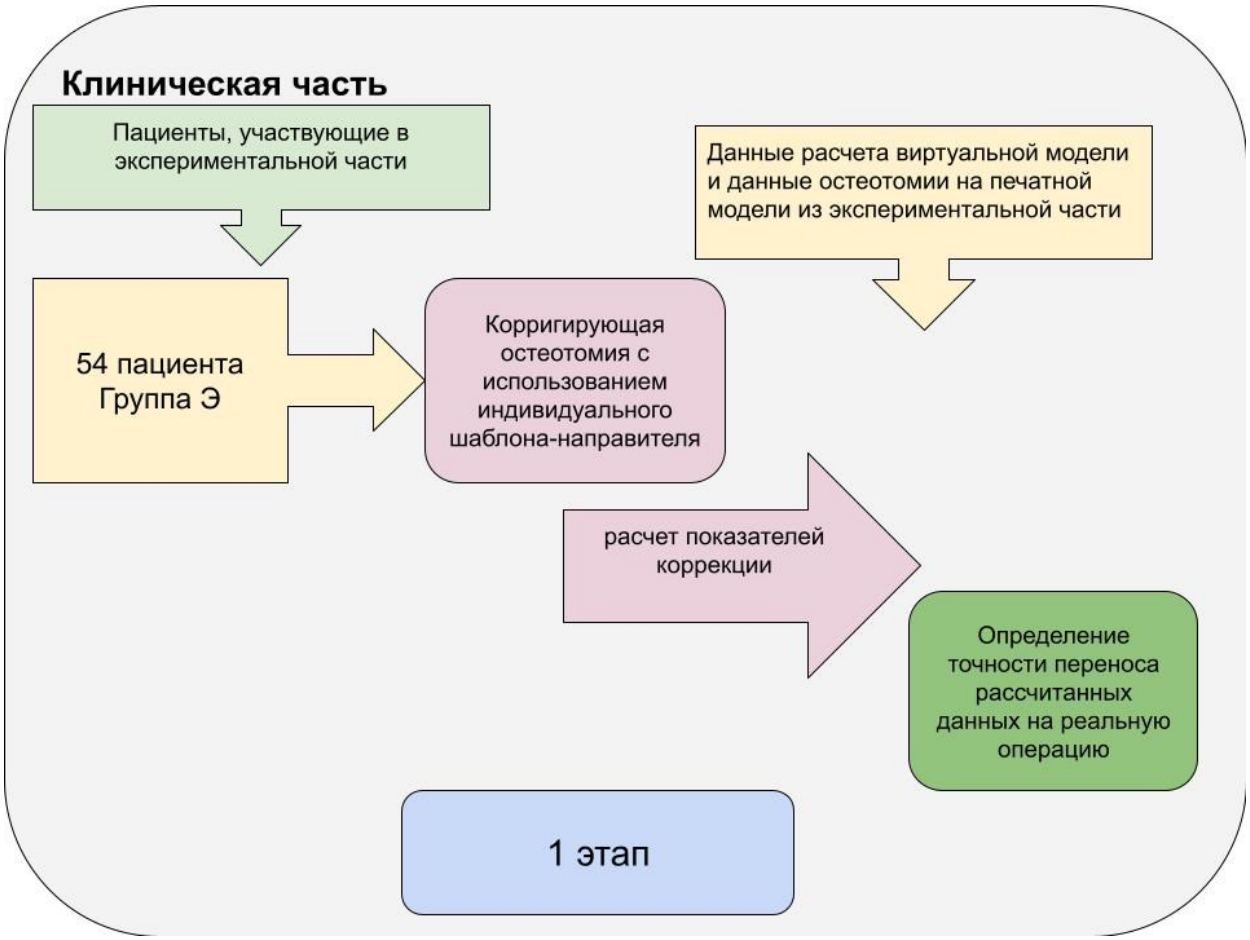


Рисунок 2.2. Структура 1 этапа клинической части диссертационного исследования.

После доказательства адекватности использования разработанного метода трёхмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя и принципиальной возможности применения метода в клинической практике нами выполнен второй этап клинического исследования, в ходе которого изучено

влияние использования предложенной технологии на качество выполнения операции корригирующей остеотомии первой плюсневой кости по поводу приобретенной вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести опытным хирургом. Для этого были сформированы две группы пациентов. В первую клиническую группу вошли 29 пациентов (29 стоп). Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, все расчёты проводились классическим методом с планированием на основании двухмерных рентгенограмм. Во вторую клиническую группу вошли также 29 пациентов (29 стоп). Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования с применением аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, который применялся во время операции (Рисунок 2.3).

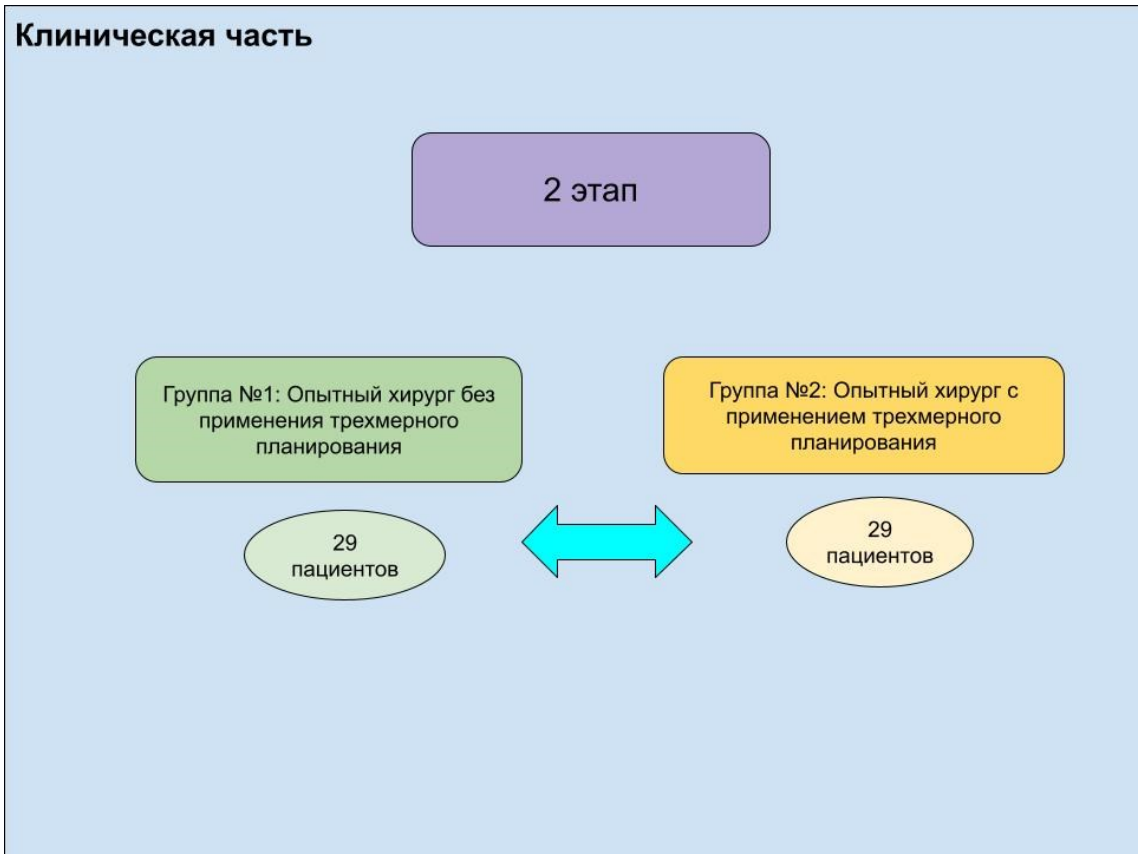


Рисунок 2.3. Структура 2 этапа клинической части диссертационного исследования.

На третьем и четвертом этапах клинического исследования были выполнены операции по поводу приобретенной вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести хирургом, осваивающим методику. Для оценки анатомических и функциональных результатов хирургического лечения приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести хирургом, осваивающим методику операции остеотомии scarf без использования методики трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя и с её использованием, были последовательно сформированы третья, четвёртая и пятая группы клинического исследования.

На третьем этапе клинического исследования была проведена оценка анатомических и функциональных среднесрочных и отдаленных результатов хирургического лечения приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести хирургом, осваивающим методику операции остеотомии scarf, и опытным хирургом традиционным способом без использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя.

Для определения исходного уровня хирурга, осваивающего методику операции остеотомии scarf, была сформирована третья клиническая группа, в которую вошли 34 прооперированные им пациента (34 стоп). Пациентам в этой группе был выполнен комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, все расчёты проводились классической методикой с расчетами на двухмерных рентгенограммах стоп.

Для сравнения исходного уровня хирургического мастерства опытного хирурга и хирурга, осваивающего методику, было проведено сравнение клинических результатов первой и третьей групп нашего исследования, в которые входили исходные результаты лечения пациентов остеотомией scarf традиционным способом без использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя. (Рисунок 3.4).

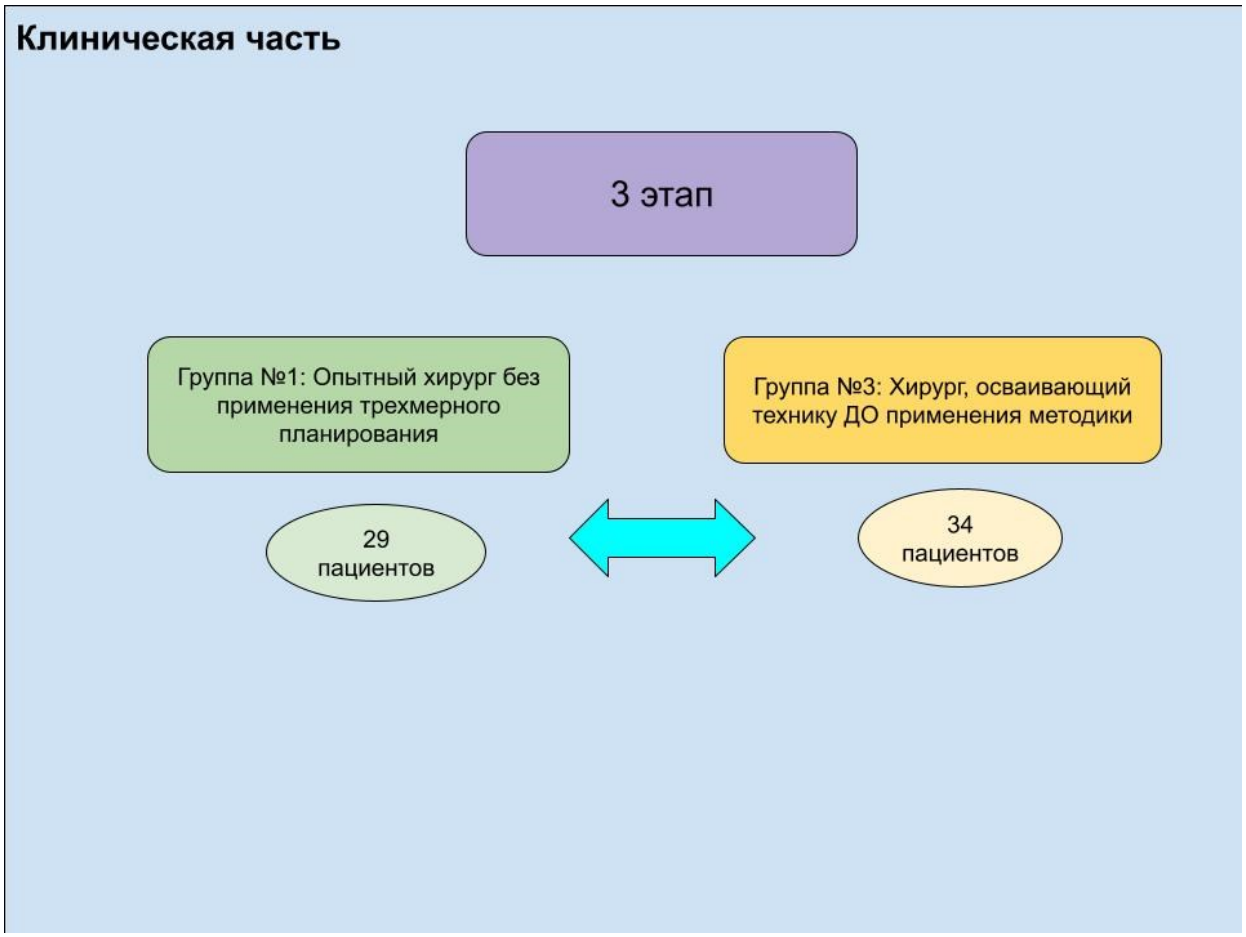


Рисунок 2.4. Структура 3 этапа клинической части диссертационного исследования.

Четвёртый этап клинического исследования показал влияние применения предложенной метода предоперационного планирования и операции с применением индивидуального шаблона-направителя на качество работы хирурга, осваивающего методику. Для этого были сформированы четвёртая и пятая клинические группы. В четвертую клиническую группу вошли 34 пациента (34 стоп). Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования с применением аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, который применялся на операции. Динамика результатов изучаемых операций в этой группе показала прогресс хирургического мастерства хирургом, осваивающим методику, при использовании технологии трёхмерного планирования с использованием индивидуального шаблона-направителя. Результат этого прогресса продемонстрировала

сформированная после четвёртой пятая клиническая группа, в которую вошли 187 пациентов (187 стоп). Пациентам в этой группе все расчёты проводились классическим методом с расчетами на двухмерных рентгенограммах (Рисунок 2.5).

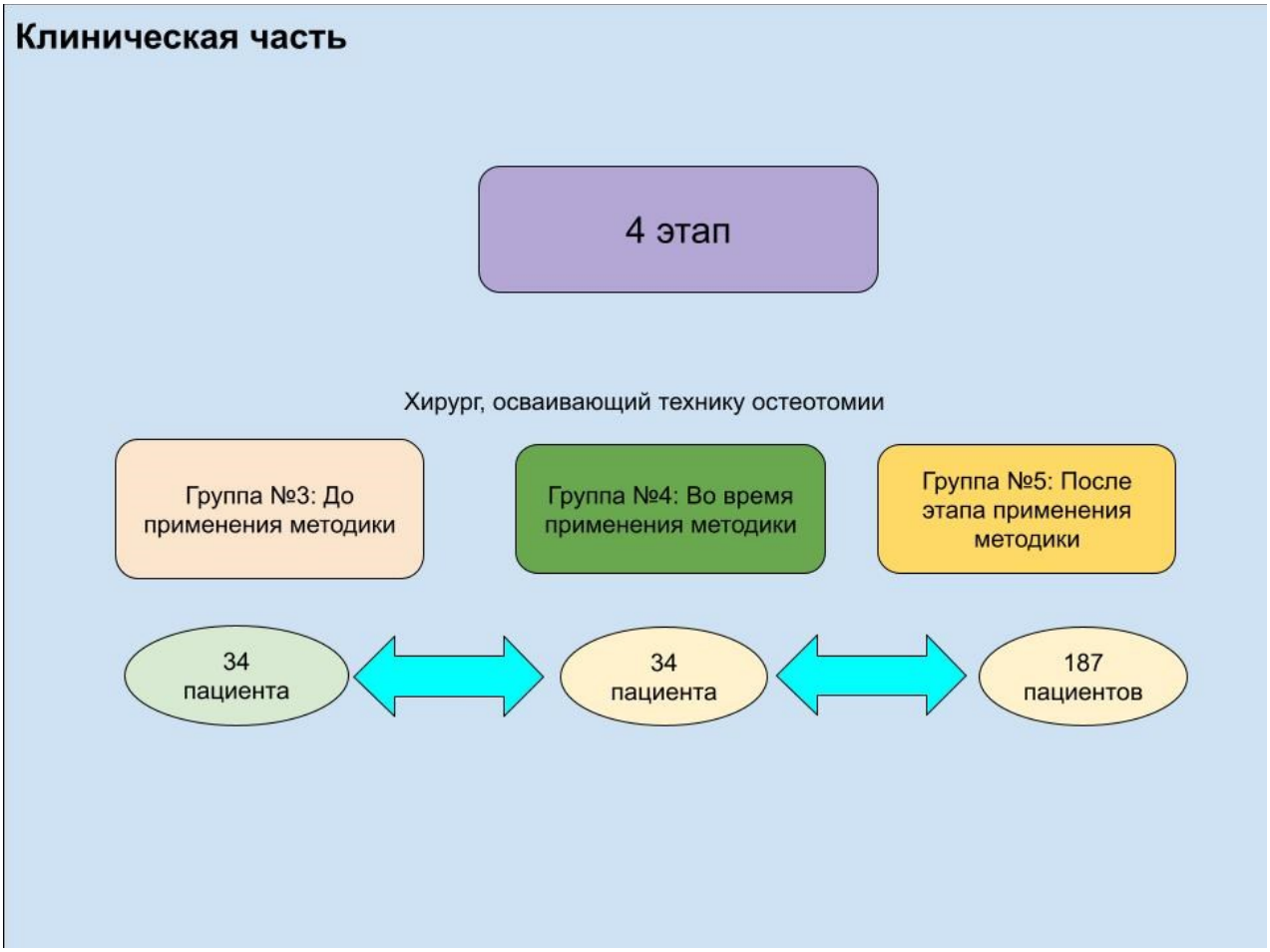


Рисунок 2.5. Структура 4 этапа клинической части диссертационного исследования.

Таким образом, дизайн исследования обеспечил возможность разработки метода трёхмерного планирования операции корригирующей остеотомии первой плюсневой кости scarf по поводу приобретенной вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести с созданием индивидуального шаблона-направителя, внедрения разработанного метода в клиническую практику с определением влияния её применения опытным хирургом и хирургом,

осваивающим методику, что позволило последовательно решить все задачи настоящего диссертационного исследования.

2.2. Экспериментальная часть исследования

2.2.1. Разработка метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя

Протокол предоперационного планирования включал в себя сбор следующих данных: исследование компьютерной томографии стопы с нагрузкой, сегментация стопы, расчет данных исходной деформации, расчет коррекции, проектировка шаблона-направителя, печать индивидуальных модели стопы и шаблона-направителя для проведения остеотомии. Полученные данные обрабатывали на программном обеспечении для анализа анатомических 3D-моделей «Materialise 3 matic» и «Materialise magics» на компьютерах с использованием операционной системы Windows. Печать моделей стопы и шаблонов-направителей проводили на 3D-принтерах «Stratasys», работающих по технологии PolyJet.

Компьютерная томография с нагрузкой. Пациентам, которым было назначено планирование операции в трехмерной среде, была выполнена МСКТ с нагрузкой на компьютерном томографе Toshiba Aquilion 64 с дистанцией между срезами 0,5 мм, что было необходимо для последующего точного построения твердотельной модели. Для воссоздания нагрузки на стопы использовался аналог изобретения, созданный авторами Терновой С.К. и др. [21]. Пациента укладывали на стол томографа в положении лежа на спине, ногами к апертуре Гентри. Ноги пациента размещали на специальной платформе. Пациенту в руки давали ремни с динамометром, которые крепились к платформе. Динамометр измерял в режиме килограмм-силы силу, которая действует на тело массой один килограмм в стандартном гравитационном поле. По техническим характеристикам прибора

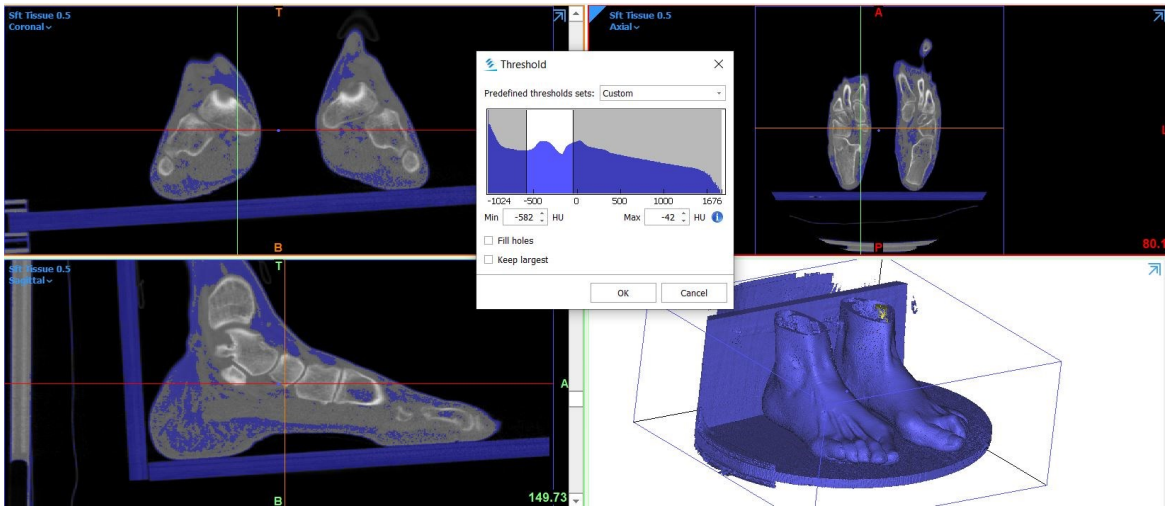
грамм-сила равна 9,80665 Н, что соответствует силе тяжести 1 кг тела в стандартном гравитационном поле. Массу тела пациента делили надвое с применением одинакового усилия для каждой руки (Усилие для руки = масса тела пациента/2 в килограмм-силах). Пациент, лежа на столе, тянул на себя ремни, врач-исследователь регистрировал необходимое усилие для каждой руки. Как только нагрузка была достигнута, проводили исследование. Принцип создания нагрузки показан на рисунке 2.6. Томографию начинали на 4-5 см выше голеностопного сустава и заканчивали на уровне нижней поверхности специального устройства для поддержки. После выполнения томограмм в сагиттальной и фронтальной проекциях выполняли серию срезов в аксиальной проекции. Полученные данные сохраняли в формате DICOM для последующего их использования при создании виртуальной модели сканированной стопы.

Рисунок 2.6. Принцип создания нагрузки: 1- размещение платформы. 2 – пациент размещает стопы на платформы. 3 – пациент ложится на кушетку с создаёт усилие на платформу, по динамометру определяется сила воздействия.

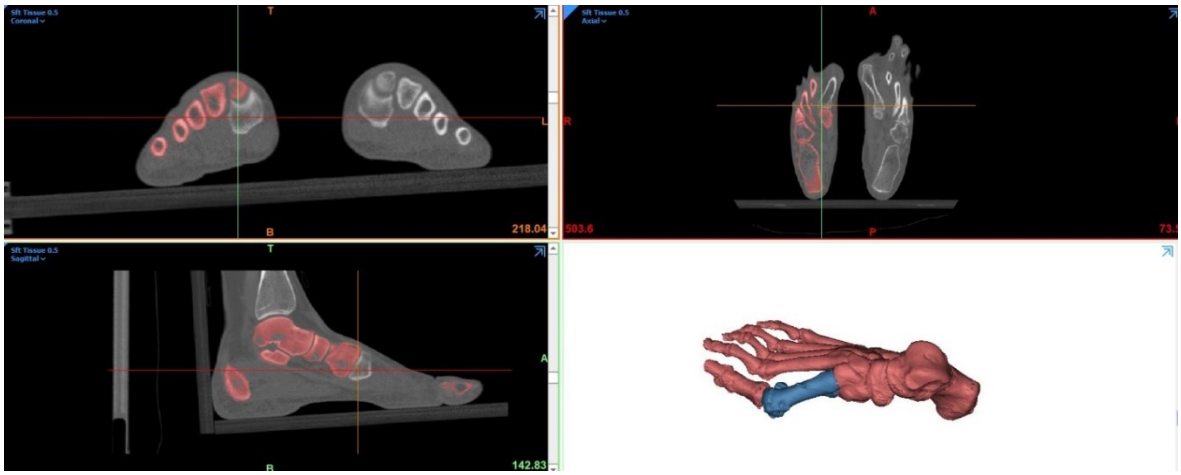
2.2.2. Сегментация ткани, создание виртуальной модели

Файл в формате DICOM загружали в программное обеспечение Materialise 3 matic. Для сегментации и получения 3D изображения костных структур производили определение костной ткани по шкале рентгеновской плотности

(Шкале Хаунсфилда) [72]. С помощью стандартного пакета программного обеспечения реализовали алгоритм сегментации (Рисунок 2.7).



А



Б

Рисунок 2.7. А. Выбор параметров сегментации с помощью заложенного алгоритма. Синим цветом обозначены выбранные ткани. Б. Послойная сегментация костной ткани на основании рентгеновской плотности по шкале Хаунсфилда (красный цвет), выделение отдельно 1 плюсневой кости (синий цвет).

После проведения сегментирования производились манипуляции, включающие исправление ошибок, таких как отверстия, зазоры между треугольными гранями, инвертированные нормали, определение того, что

находится внутри и снаружи печатаемой детали, и применение локального и глобального сглаживания модели. После этого формировали виртуальную модель, пригодную для проведения расчетов.

2.2.3. Визуальное процедурное планирование

После того как была сегментирована и подготовлена виртуальная модель, переходили к планированию операции, проводили расчеты коррекции деформации и устанавливали направления ведения инструмента. В ходе планирования определяли следующие показатели: HVA и IMA, расчет коррекции, создание плоскостей направления ведения инструмента, необходимость удлинения или укорочения первой плюсневой кости.

Плоскость остеотомии задавали параллельно нижней плоскости первой плюсневой кости таким образом, чтобы первая линия, образующая плоскость она проходила через головку 4-й плюсневой кости, а вторая линия была осью 2 плюсневой кости и между линиями было 90 градусов. (Рисунок 2.8.А) [222]. На основании выбранных плоскостей задавали предварительную линию остеотомии (Рисунок 2.8.Б).

А Б

Рисунок 2.8. А. Определении изначальной плоскости остеотомии с по оси 2 плюсневой кости и головке 4 плюсневой кости, Б. формирование предварительной линии остеотомии по заданным плоскостям.

Окончательное формирование направления плоскостей опилов зависело от необходимости изменения длины первой плюсневой кости. Для этого моделировалось смещение дистального фрагмента опила по необходимому углу смещения, после чего проводилось измерение предполагаемой длинны первой плюсневой кости после остеотомии.

Соотношение первого и второго лучей оценивали по формуле EL = P1-P2-D [150] для определения наличия или отсутствия избыточной длинны первого луча (EL). Расстояние удлинения 2 плюсневой кости (D) определяли, как расстояние между поперечной линией, перпендикулярной оси 2 плюсневой кости, проходящей через дистальную точку второй плюсневой кости, и параллельной ей линией, проходящей через дистальную точку перовой плюсневой кости. Длина большого пальца стопы (P1) определялась как расстояние между кончиком дистальной фаланги и основанием проксимальной фаланги. Длина второго пальца стопы (P2) определялась как расстояние от кончика дистальной фаланги до основания проксимальной фаланги (Рисунок 2.9).

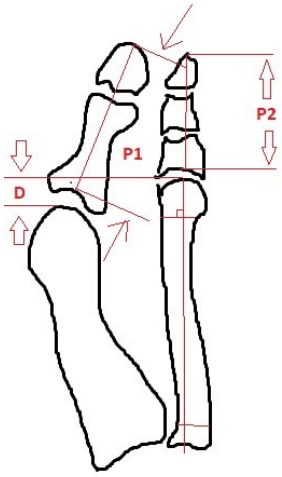


Рисунок 2.9. Схематичный рисунок определения избыточности длины первого луча EL. D - расстояние удлинения 2 плюсневой кости. P1- длина большого пальца стопы. P2- Длина второго пальца стопы [150].

Считали, что укорочение первой плюсневой кости требуется, если рассчитываемый P1>4.9 см и рассчитываемый EL>0.4 см. Это требовалось для предотвращения риска рецидива деформации. Данные значения были выбраны на основании результатов исследования Li X и коллег [150].

Определение необходимости изменения длинны других плюсневых костей с помощью дополнительных остеотомий (подробное описание техники дополнительных остеотомий в см. в разделе «2.4.3 Хирургическая техника»), а также предотвращение чрезмерного укорочения первой плюсневой кости проводилось на основании данных исследования Domínguez-Maldonado G. и коллег [80]. Рекомендованные разницы длины плюсневых костей относительно второй плюсневой кости представлены в таблице 2.1. Сам метод определения длин плюсневых костей основан на методе Hardy и Clapham [103].

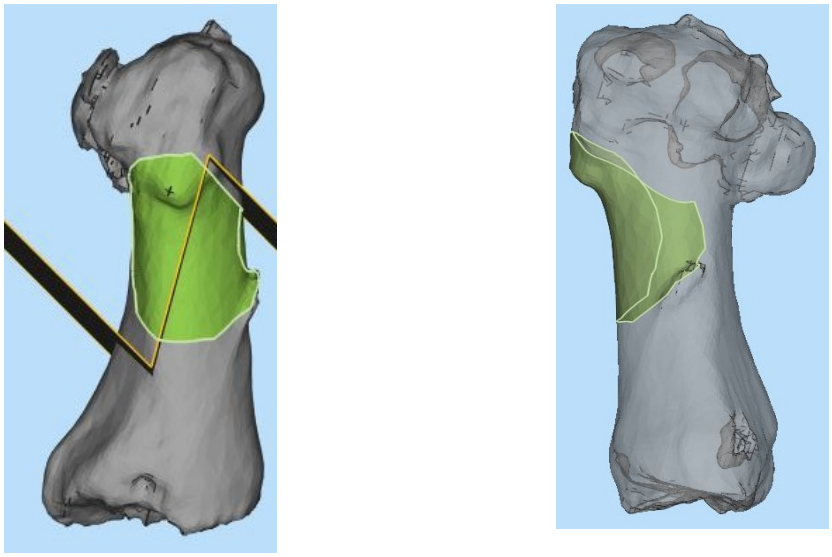
Таблица 2.1. Рекомендованные разницы длины плюсневых костей относительно второй плюсневой кости (длинна относительно II плюсневой кости, измеренная в процентном соотношении; $\bar{x} \pm \sigma_x$) [80].

Параметр	Пол	
	Женщины	Мужчины
II-I длинна	1,27 ± 1,88%	0,50 ± 2,35%
II-III длинна	−3,36 ± 1,04%	−3,77 ± 1,31%
II-IV длинна	−8,34 ± 1,69%	−9,57 ± 1,87%
II-V длинна	−15,54 ± 2,07%	−17,05 ± 2,64%

Заключение о необходимости проведения дополнительной остеотомии Akin (остеотомии основной фаланги 1 пальца стопы) определяли на основании измерения угла HVIP. Если после проведения остеотомии scarf угол HVIP составлял более 9°, то остеотомия была показана [212].

2.2.4. Проектировка шаблона-направителя

Пятно контакта шаблона-направителя с поверхностью первой плюсневой кости проектировали таким образом, чтобы оно накладывалось на свою позицию за счет индивидуальной конфигурации экзостоза. Этот аспект в последующем изменял традиционный порядок проведения операции, так как экзостоз удаляли после проведения опила (Рисунок 2.10).



А Б

Рисунок 2.10. Определения пятна контакта направителя: А- вид сверху, Б –Вид сбоку.

Для того, чтобы исключить потенциальные деформации на индивидуальном шаблоне-направителе, мы использовали стандартный многоразовый направитель пилы, инструмент «Osteoguides» фирмы «Integra Life Ciences Corporation», который крепился в корпусе индивидуального направителя (Рисунок 2.11). Для реализации планирования при помощи стандартного инструмента была создана его виртуальная модель на основании имеющейся технической документации и сверки его размеров с помощью электрического штангенциркуля «Калибр», после чего

данные трехмерной конфигурации многоразового направителя были загружены в систему виртуального планирования.

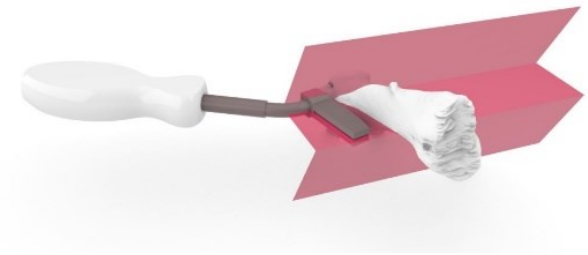


Рисунок 2.11. Использование в виртуальном пространстве инструмента «Osteoguides» фирмы «Integra Life Ciences Corporation» на первой плюсневой кости, красным обозначена плоскость опила.

Оси ведения спиц для закрепления шаблона-направителя на поверхности кости устанавливались по следующим правилам: спицы не должны были пресекать линию ведения инструмента, для избегания соскальзывания при установке и последующему смещению шаблона спицы стремились устанавливались не параллельно, а 45 градусов и более относительно друг друга (Рисунок 2.12).

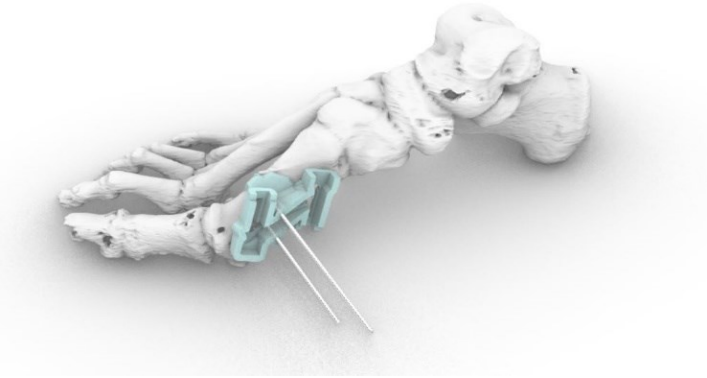
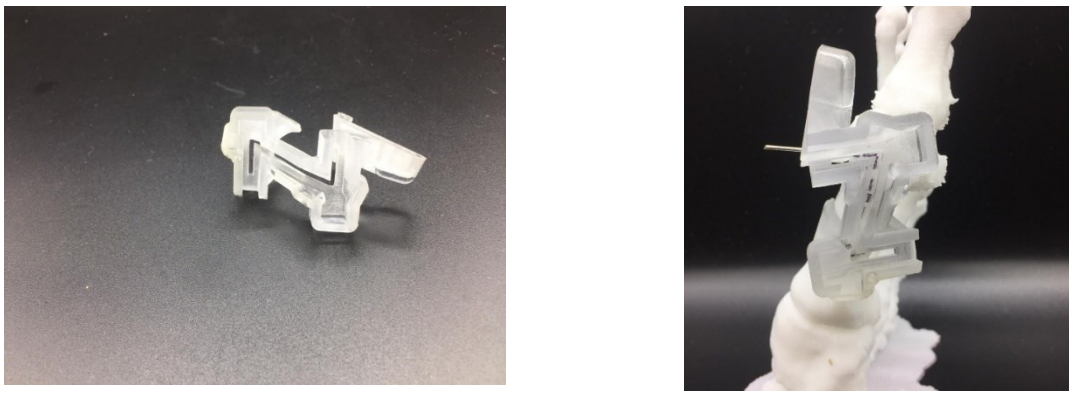


Рисунок 2.12. Виртуальное моделирование посадки шаблона-направителя: производится виртуальная посадка шаблона-направителя на первую плюсневую кость, и происходит выбор направления удерживающих шаблон спиц.

После завершения проектировки геометрических показателей шаблона-направителя на основании всех расчетов его проект передавали в печать. Внешний вид шаблона-направителя представлен на рисунке 2.13.



А Б

Рисунок 2.13. А -Внешний вид шаблона-направителя для проведения SCARF остеотомии; Б- Установка напечатанного шаблона-направителя на печатную модель стопы

2.2.5. Проектирование и создание индивидуальной печатной модели

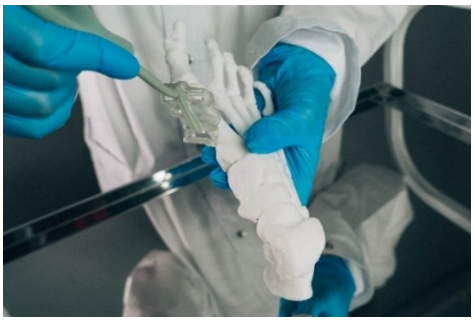
Для проведения экспериментальной части исследования было необходимо создать индивидуальную модель стопы, которая состояла из твердотельной печатной части и покрытия из силиконового материала. Твердотельную печатную модель производили на основании исходных данных МСКТ с деформацией с проведением сегментации костных структур. Для каждой стопы создавалась индивидуальная заливочная форма на основании несегментированных данных МСКТ стопы, пример индивидуальной заливочной формы указан на рисунке 2.14.

Производилась печать твердотельной печатной модели и заливка модели силиконом (Рисунок 2.15).

А

Б

Рисунок 2.14. А- Индивидуальная заливочная форма для создания модели в силиконе в разобранном виде; Б - Индивидуальная заливочная форма для создания модели в силиконе в собранном виде



А

Б

В

Рисунок 2.15. А- установка шаблона-направителя на печатную модель стопы, вид сверху. Б - установка шаблона-направителя на печатную модель стопы, вид сбоку. В – прототип модели стопы с и без заливки силиконом.

2.2.6. Создание индивидуальных шаблона-направителя и печатной модели стопы

Печать индивидуальных шаблонов-направителей проводили на 3D-принтерах «Stratasys», работающих по технологии PolyJet. Для изготовления направителя использовали материал MED 610 фотополимер производства компании stratasys. Для создания твердотельной модели стопы использовалась технология FDM (fused deposition modeling – моделирование методом послойного наплавления), с

применением полимерного материала «Raise 3d N2 Duo». Для моделирования мягких тканей использован силикон с твёрдостью по Шору 30 марки «Smooth oh».

2.2.7. Выполнение операции на индивидуальной печатной модели

Все модели были прооперированы в Клинике высоких медицинских технологий имени Н.И. Пирогова 2ое травматологическое отделение. Операции проводились одним хирургом с большим опытом проведения корригирующей остеотомии scarf (Рисунок 2.16). Проведение остеотомии производилось согласно описанию операции, указанному в пункте «2.3.6 Хирургическая техника».

А

Б

Рисунок 2.16 Моделирование операции, включая дополнительные остеотомии модели (А, Б).

После проведения операции производили рентгенологический контроль выполненной коррекции и производили измерение углов IMA и HVA (описание измерения углов в разделе «2.3.5.2 Рентгенологический метод исследования»).

2.3. Проведение клинической части исследования

Клиническое исследование состояло из 3х этапов. Всего в клиническое исследование было включено 367 пациентов с диагнозом: приобретенная вальгусная деформация первой пальца стопы легкой и средней тяжести. Все пациенты перед включением в исследование были подробно проинформированы о его дизайне и подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

2.3.1. Критерии включения

Критериями включения пациентов в группы исследования были следующими:

- Возраст более 18 лет.
- Деформация HV легкой и средней тяжести.
- Наличие проявленного болевого синдрома.
- Индекс массы тела менее 30.
- Отсутствие ревматоидных заболеваний.
- Отсутствие сосудистой и неврологической патологии.
- Стабильный первый плюсне-клиновидный сустав.
- Отсутствие значимых функциональных нарушений голеностопных, коленных, тазобедренного суставов, а также отсутствие ДДЗП (денегативного заболевания позвоночника) с наличием неврологического дефицита.
- Добровольное согласие на оперативное вмешательство и исследование
- Возможность оценки результатов на 12 и 24 месяцы исследования.

Схематично критерии включения и исключения представлены на рисунке 2.17.

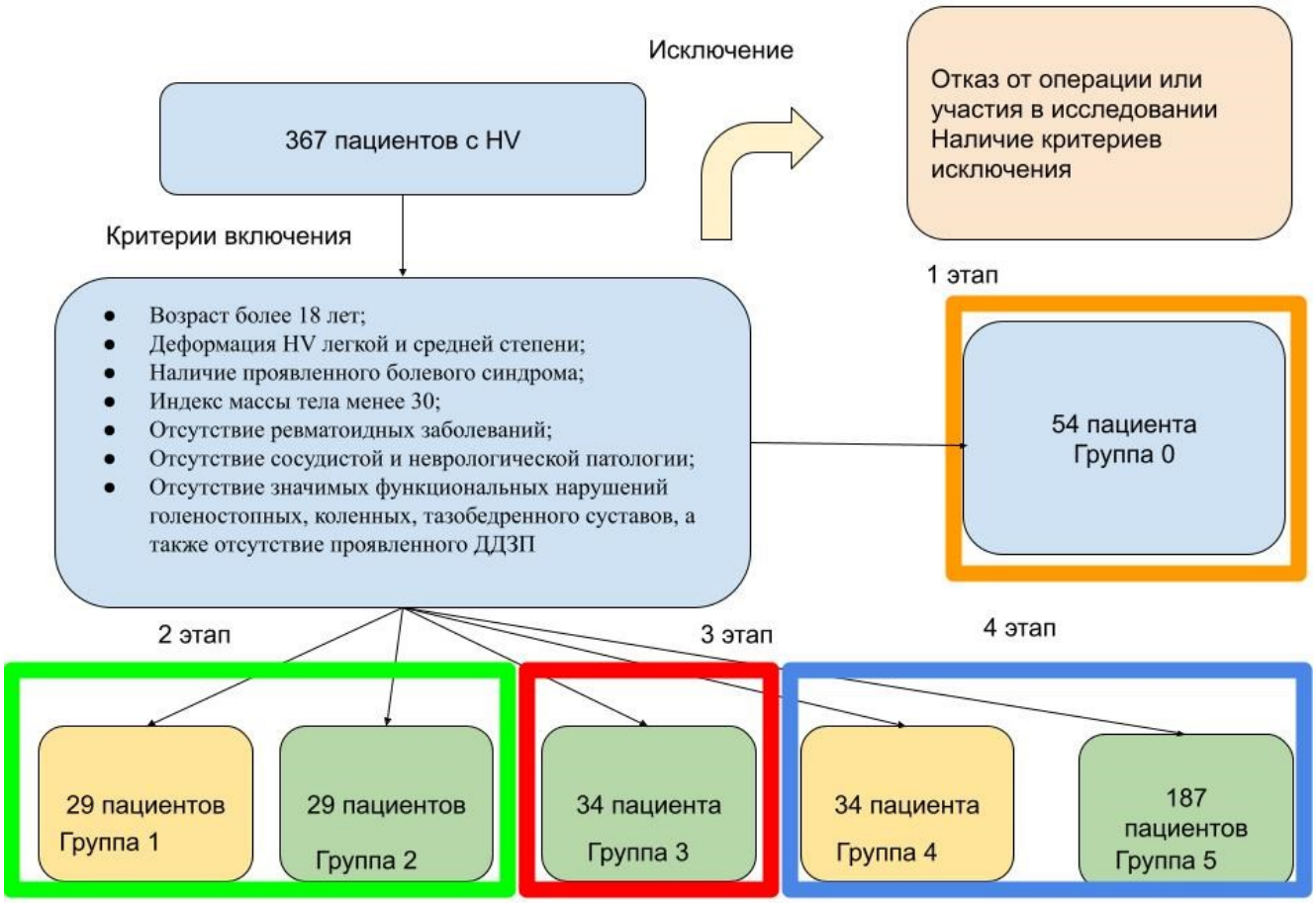


Рисунок 2.17. Критерии включения пациентов в диссертационное исследование и количество пациентов в группах.

2.3.2. Общая характеристика первого этапа клинической части исследования

На этом этапе была сформирована Группа 0. В исследовании было включено 54 пациента, которым предварительно на экспериментальном этапе исследования было выполнено виртуальное моделирование деформации с последующим выполнением операции на индивидуальной пластиковой модели с использованием индивидуальных шаблонов-направителей. Пациентам проводилась операция корригирующей остеотомии scarf по поводу легкой (13 случаев – 13 стоп) и средней степени (41 случаев – 41 стоп) деформации. При этом использовали те же шаблоны-

направители, которые использовались на экспериментальной части исследования для выполнения операции на пластиковой модели стопы с деформацией.

Средний возраст пациентов составил 57,00±10,09 лет, средний ИМТ 24,52±3,20 кг/м^2, средний HVA, полученный перед планированием, составил 30,27±5,61 градуса, средний IMA, полученный перед планированием, составил 16,39±2,54 градуса.

Техника выполнения операции, а также протокол реабилитационного лечения не отличались от таковых в других группах и будут описаны ниже.

2.3.3. Общая характеристика пациентов, включенных во 2 этап клинического исследования

В первую клиническую группу вошли 29 пациентов (29 стоп).

Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, все расчёты проводились традиционной классическим методом с расчетами на двухмерных рентгенограммах. Все операции в этой группе были выполнены опытным хирургом, у которого количество операций техникой scarf к моменту исследования составляло более 1000.

Во вторую клиническую группу вошли 29 пациентов (29 стоп). Операции были выполнены тем же хирургом. Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования с применением аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, который применялся во время операции.

В первой группе было 29 (100 %) женщин, и 0 (0 %) мужчин. Средний возраст пациентов в первой группе составил 54.48 ± 9.18 лет. Средний ИМТ пациентов составил 24.61 ± 3.13 кг/м^2. Всего с нормальной массой тела было 15 (51.72 %) пациента, в стадии предожирения - 14 (48.28 %) пациентов. Средний показатель AOFAS до операции в первой группе составил 52.79 ± 17.21 баллов, VASFA - 66 ±

17.08 баллов, MOXFQ - 60.22 ± 18.54 баллов. При оценке по шкале AOFAS получены следующие результаты: неудовлетворительно - 11 (37.93 %), удовлетворительно - 15 (51.72 %), хорошо - 3 (10.34 %). Средний HVIP до операции в первой группе составил 10.89 ± 5.01 баллов, HVA - 25.56 ± 4.41 баллов, IMA - 15.71 ± 2.36 баллов, DMAA - 8.58 ± 4.64 баллов.

Во второй группе было 29 (100 %) женщин. Средний возраст пациентов во второй группе составил 56.93 ± 8.91 лет. Средний ИМТ пациентов составил 24.49 ± 3.54 кг/м^2. Всего с нормальной массой тела было 14 (48.28 %) пациента, в стадии предожирения - 15 (51.72 %) пациентов. Средний AOFAS до операции во второй группе составил 57.03 ± 13.07 баллов, VASFA - 65.69 ± 17.52 баллов, MOXFQ - 62.67 ± 17.01 баллов. По оценке шкал AOFAS неудовлетворительно - 10 (34.48 %), удовлетворительно - 16 (55.17 %), хорошо - 3 (10.34 %). Средний HVIP до операции во второй группе составил 13.74 ± 5.63 градусов, HVA - 24.57 ± 5.19 градусов, IMA - 16.19 ± 2.8 градусов, DMAA - 8.08 ± 4.52 градусов.

Так как в исследуемые группы были включены пациенты как с изолированной остеотомией scarf, так и пациенты, которым в дополнении к остеотомии scarf были остеотомия Akin и/или других плюсневых костей, нами было выполнено сравнительное исследование результатов лечения в подгруппах без дополнительных остеотомий и с дополнительными остеотомиями с целью определения степени влияния фактора дополнительных остеотомий на результат остеотомии scarf. При этом проводилось сравнение по 4 линиям: подгруппы с дополнительными остеотомиями и без них первой и второй групп между собой, а также сравнение подгрупп с наличием дополнительных остеотомий и без внутри каждой группы (Рисунок 2.18).

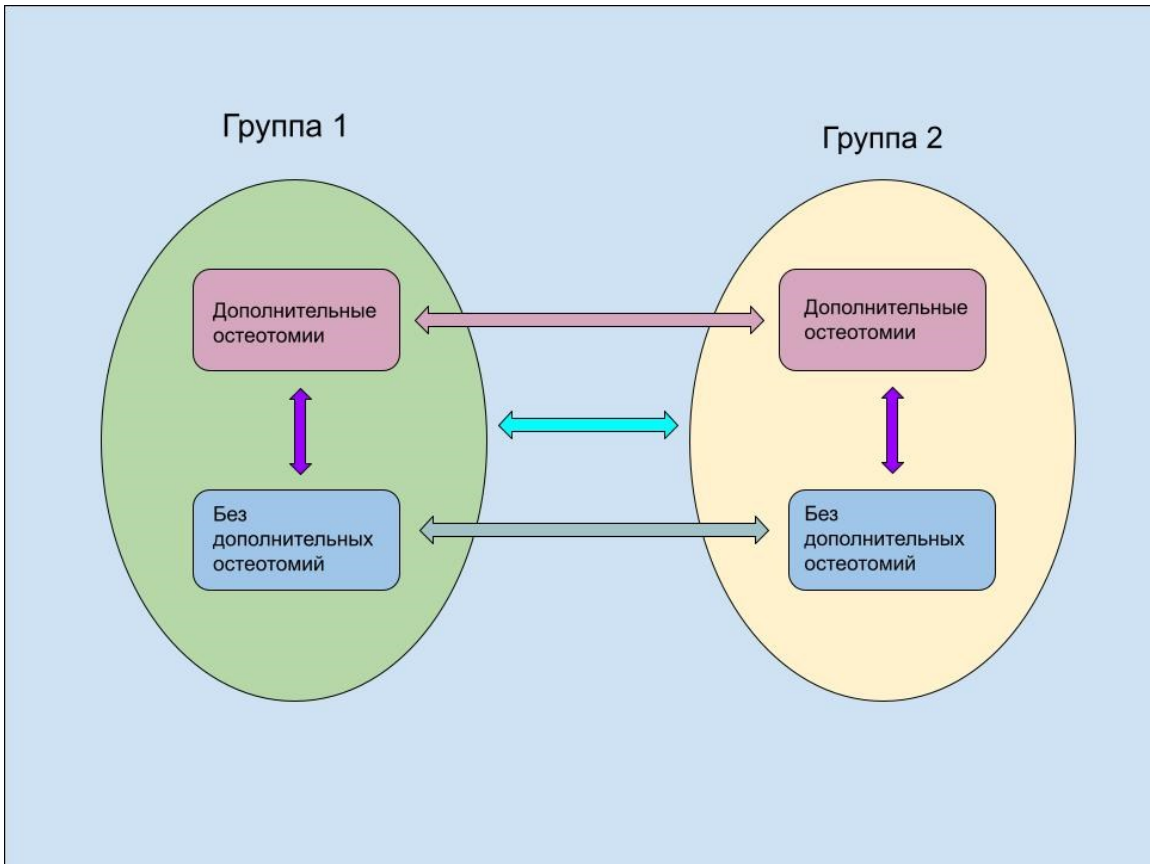


Рисунок 2.18. Сравнение по 4 линиям: подгруппы с дополнительными остеотомиями и без них первой и второй групп между собой, сравнение подгрупп с наличием дополнительных остеотомий и без внутри каждой группы.

2.3.4. Общая характеристика пациентов, включенных в 3 и 4 этапа клинического исследования

В третью клиническую группу вошли 34 пациента (34 стоп). Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, все расчёты проводились классическим методом с расчетами на двухмерных рентгенограммах. Все операции в этой группе были выполнены хирургом, осваивающим методику, до этапа обучения с помощью шаблонов-направителей. Эта клиническая группа показала исходный уровень хирурга, осваивающего методику операции остеотомии scarf.

В четвертую клиническую группу вошли 34 пациента (34 стоп). Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования с применением аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, который применялся на операции. Все операции в этой группе были выполнены хирургом, осваивающим методику.

В пятую клиническую группу вошли 187 пациентов (187 стоп). Пациентам в этой группе выполнен комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, все расчёты проводились классическим методом с расчетами на двухмерных рентгенологических снимках. Все операции в этой группе были выполнены хирургом, осваивающим методику после этапа обучения. (Рисунок 2.19). Результаты изучаемых операций в этой группе позволили оценить прогресс хирургического мастерства у хирурга, осваивающего методику, при использовании технологии трёхмерного планирования с использованием индивидуального шаблона-направителя.

Рисунок 2.19. Дизайн третьего этапа клинического исследования.

В третьей группе было 29 (85.29 %) женщин, и 5 (14.71 %) мужчин. Средний возраст пациентов в третьей группе составил 56.03 ± 9.37 лет. Средний ИМТ пациентов составил 25.06 ± 3.05 кг/м^2. Всего с нормальной массой тела было 18

(52.94 %) пациента, в стадии предожирения - 16 (47.06 %) пациентов. Средний AOFAS до операции в третьей группе составил 60.82 ± 16.25 баллов, VASFA - 65 ± 14.6 баллов, MOXFQ - 60.66 ± 15.56 баллов. При оценке по шкале AOFAS получены следующие результаты: неудовлетворительно - 9 (26.47 %), удовлетворительно - 18 (52.94 %), хорошо - 7 (20.59 %). Средний HVIP до операции в третьей группе составил 10.3 ± 4.76 баллов, HVA - 23.14 ± 4.51 баллов, IMA - 16.08 ± 1.87 баллов, DMAA - 9.17 ± 4.39 баллов.

В четвертой группе было 32 (94.12 %) женщин, и 2 (5.88 %) мужчин. Средний возраст пациентов в четвертой группе составил 57.06 ± 11.2 лет. Средний ИМТ пациентов составил 24.55 ± 2.96 кг/м^2. Всего с нормальной массой тела было 20 (58.82 %) пациента, в стадии предожирения - 14 (41.18 %) пациентов. Средний AOFAS до операции в четвертой группе составил 62.35 ± 15.72 баллов, VASFA - 69.35 ± 15.77 баллов, MOXFQ - 61.07 ± 18.81 баллов. При оценке по шкале AOFAS получены следующие результаты: неудовлетворительно - 8 (23.53 %), удовлетворительно - 18 (52.94 %), хорошо - 8 (23.53 %). Средний HVIP до операции в четвертой группе составил 11.44 ± 6.17 баллов, HVA - 24.55 ± 5.06 баллов, IMA - 16.56 ± 2.33 баллов, DMAA - 9.03 ± 3.31 баллов.

В пятой группе было 179 (95.72 %) женщин, и 8 (4.28 %) мужчин. Средний возраст пациентов в пятой группе составил 54.65 ± 12.32 лет. Средний ИМТ пациентов составил 24.53 ± 3.05 кг/м^2. Всего с нормальной массой тела было 96 (51.34 %) пациента, в стадии предожирения - 91 (48.66 %) пациентов. Средний AOFAS до операции в пятой группе составил 55.34 ± 16.23 баллов, VASFA - 64.39 ± 16.24 баллов, MOXFQ - 62.33 ± 17.35 баллов. При оценке по шкале AOFAS получены следующие результаты: неудовлетворительно - 78 (41.71 %), удовлетворительно - 80 (42.78 %), хорошо - 29 (15.51 %). Средний HVIP до операции в пятой группе составил 10.42 ± 4.29 баллов, HVA - 24.48 ± 5.31 баллов, IMA - 15.56 ± 2.74 баллов, DMAA - 9.57 ± 5.3 баллов.

При проверке однородности распределения между группами не было выявлено статистически значимой разницы по всем показателям (Таблица 2.2, Таблица 2.3), за исключением пола.

Таблица 2.2. Описательная статистика 5 групп по показателям: Возраст, ИМТ, AOFAS, VASFA, MOXFQ, HVIP, HVA, IMA, DMAA, а также оценка однородности между группами (формула) (p-уровень значимости). Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Параметр	Группа №1 (n=29)	Группа №2 (n=29)	Группа №3 (n=34)	Группа №4 (n=34)	Группа №5 (n=187)	p-уровень
Возраст (годы)	54,48±9,18	56,93±8,91	56,03±9,37	57,06±11,2	54,65±12,32	0,71
ИМТ ($кг/м^2$)	24,61±3,13	24,49±3,54	25,06±3,05	24,55±2,96	24,53±3,05	0,93
AOFAS (баллы)	52,79±17,21	57,03±13,07	60,82±16,25	62,35±15,72	55,34±16,23	0,09
VASFA (баллы)	66±17,08	65,69±17,52	65±14,6	69,35±15,77	64,39±16,24	0,64
MOXFQ (баллы)	60,22±18,54	62,67±17,01	60,66±15,56	61,07±18,81	62,33±17,35	0,94
HVIP (градусы)	10,89±5,01	13,74±5,63	10,3±4,76	11,44±6,17	10,42±4,29	0,12
HVA (градусы)	25,56±4,41	24,57±5,19	23,14±4,51	24,55±5,06	24,48±5,31	0,41
IMA (градусы)	15,71±2,36	16,19±2,8	16,08±1,87	16,56±2,33	15,56±2,74	0,26
DMAA (градусы)	8,58±4,64	8,08±4,52	9,17±4,39	9,03±3,31	9,57±5,3	0,72

Так, в первой и второй группах пациентов мужского пола не было, а в третьей, четвёртой и пятой группах было 5 (14.71%), 2 (5.88%) и 8 (4.28%) пациентов мужского пола соответственно (Таблица 2.3). Тем не менее, применённый нами однофакторный анализ методом логической регрессии показал отсутствие значимости признака пола на результат лечения, что позволило нам считать группы однородными для дальнейшего анализа и сравнения полученных результатов.

Таблица 2.3. Описательная статистика 5 групп по показателям пола, ИМТ, Оценка AOFAS, уровню деформации, наличию остеотомии Akin и остеотомий других плюсневых костей, а также оценка однородности между группами (p-уровень значимости). Запись: абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)

Параметр	Группа №1 (n=29)	Группа №2 (n=29)	Группа №3 (n=34)	Группа №4 (n=34)	Группа №5 (n=187)	
Пол						p-уровень
Женский	29 100%	29 100%	29 85,29%	32 94,12%	179 95,72%	0,03
Мужской	0 0%	0 0%	5 14,71%	2 5,88%	8 4,28%	
ИМТ						p-уровень
Нормальная масса тела	14 48,28%	15 51,72%	18 52,94%	20 58,82%	96 51,34%	0,93
Предожирение	15 51,72%	14 48,28%	16 47,06%	14 41,18%	91 48,66%	
Оценка AOFAS						p-уровень
неудовлетворительно	10 34,48%	11 37,93%	9 26,47%	8 23,53%	78 41,71%	0,39
удовлетворительно	16 55,17%	15 51,72%	18 52,94%	18 52,94%	80 42,78%	
хорошо	3 10,34%	3 10,34%	7 20,59%	8 23,53%	29 15,51%	
Уровень деформации						p-уровень
Легкий	7 24,14%	3 10,34%	9 26,47%	6 17,65%	52 27,81%	0,27
Средний	22 75,86%	26 89,66%	25 73,53%	28 82,35%	135 72,19%	
Дополнительная остеотомия Akin						p-уровень
Да	10 34,48%	12 41,38%	15 44,12%	7 20,59%	71 37,97%	0,28
Нет	19 65,52%	17 58,62%	19 55,88%	27 79,41%	116 62,03%	
Дополнительные остеотомии других плюсневых костей						p-уровень
II,III,IV,V плюсневые кости	6 20,69%	4 13,79%	4 11,76%	3 8,82%	25 13,37%	0,37
II,III,V плюсневые кости	2 6,9%	3 10,34%	1 2,94%	3 8,82%	13 6,95%	
II, V плюсневые кости	6 20,69%	1 3,45%	1 2,94%	5 14,71%	17 9,09%	
V плюсневая кость	15 51,72%	5 17,24%	9 26,47%	6 17,65%	59 31,55%	
нет	0 0%	16 55,17%	19 55,88%	17 50%	73 39,04%	

Так как в исследуемые группы были включены пациенты как с изолированной остеотомией scarf, так и пациенты, которым в дополнении к остеотомии scarf были выполнены остеотомия Akin и/или остеотомии других плюсневых костей, нами было выполнено сравнительное исследование результатов лечения в подгруппах без дополнительных остеотомий и с дополнительными остеотомиями с целью определения степени влияния фактора дополнительных остеотомий на результат, полученный после остеотомии scarf. При этом проводилось сравнение по 4 линиям: подгруппы с дополнительными остеотомиями и без них третьей, четвертой и пятой групп между собой, а также сравнение подгрупп с наличием дополнительных остеотомий и без внутри каждой группы

Подгруппы дополнительных остеотомий. Так как во всех группах были пациенты, которым выполняли дополнительные остеотомии Akin и/или остеотомии 2 – 5 плюсневых костей, нами проведено сравнительное исследование результатов в выборках с использованием и без использования дополнительных остеотомий с целью определения влияния дополнительных остеотомий на изучаемую технологию. Считали, что, если попарное сравнение не отличается от общей выборки, факторы дополнительной остеотомии не искажают данные, полученные при исследовании применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя. Разделение по подгруппам проводили по принципу наличия или отсутствия каких-либо дополнительных остеотомий. Кроме того, проводили попарное сравнение подгрупп пациентов с дополнительными остеотомиями и без них внутри групп с целью определения разницы между группами (Рисунок 2.20).

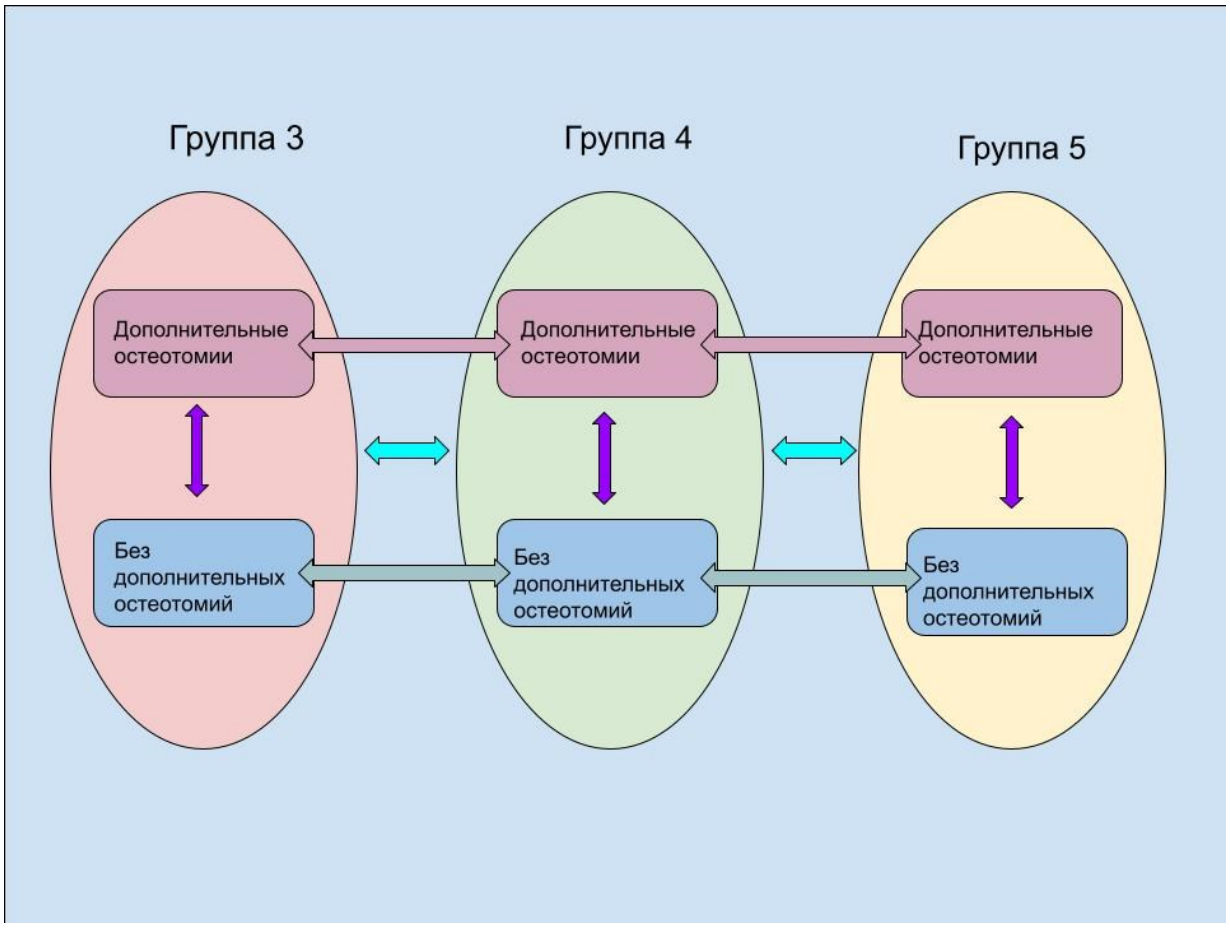


Рисунок 2.20. Схема сравнения по 4 линиям: подгруппы с дополнительными остеотомиями и без них третьей, четвертой и пятой групп между собой, сравнение подгрупп с наличием дополнительных остеотомий и без внутри каждой группы.

В выборку, где выполнялись дополнительные остеотомии вошло 214 пациентов. Из них было 203 (94.86 %) женщин, и 11 (5.14 %) мужчин. Средний возраст пациентов в подгруппе дополнительных остеотомий составил 55.52 ± 11.21 лет. Основные показатели подгрупп указаны в Таблица 2.4, Таблица 2.5.

При проверке однородности распределения между группами статистически значимой разницы не было выявлено по всем показателям (Таблица 2.4, Таблица 2.5).

Таблица 2.4. Описательная статистика 5 групп в подгруппах дополнительных остеотомий по показателям: возраст, ИМТ, AOFAS, VASFA, MOXFQ, HVIP, HVA, IMA, DMAA, а также оценка однородности между группами (p-уровень значимости). Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Параметр	Группа №1 (n=29)	Группа №2 (n=29)	Группа №3 (n=34)	Группа №4 (n=34)	Группа №5 (n=187)	p-уровень
Возраст (лет)	58,21±7,35	55,83±9,66	57,95±10,18	59,6±9,37	54,15±12,05	0,13
ИМТ (кг/м^2)	24,25±3,97	24,88±2,91	25,15±3	25,07±3,23	24,34±3,01	0,68
AOFAS (баллы)	56±15,13	51,89±16,05	61,05±15,4	63,25±16,07	54,97±16,5	0,13
VASFA (баллы)	60,53±17,58	64,53±12,36	68,33±13,1	67,1±16,73	64,27±16,2	0,7
MOXFQ (баллы)	65,99±17,69	64,03±14,51	64,75±15,59	59,31±17,08	61,76±17,57	0,78
HVIP (градусы)	13,38±5,84	10,21±4,37	10,46±3,62	12,91±6,83	10±4,39	0,34
HVA (градусы)	26,2±4,9	25,59±4,73	22,78±4,93	24,12±5,13	25,04±5,24	0,18
IMA (градусы)	16,1±3,17	16,05±2,38	16,15±2,02	16,39±2,33	15,5±2,77	0,58
DMAA (градусы)	8,15±4,35	8,79±4,79	8,91±4,65	9,15±3,24	9,46±5,37	0,92

Таблица 2.5. Описательная статистика 5 групп в подгруппах дополнительных остеотомий по показателям пола, ИМТ, Оценка AOFAS, уровня деформации, наличия остеотомии Akin и остеотомий других плюсневых костей, а также оценка однородности между группами (p-уровень значимости). Запись: абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)

Параметр	Группа №1 (n=29)	Группа №2 (n=29)	Группа №3 (n=34)	Группа №4 (n=34)	Группа №5 (n=187)	
Пол						p-уровень
Женский	19 100%	18 100%	17 85%	20 100%	129 94,16%	0,13
Мужской	0 0%	0 0%	3 15%	0 0%	8 5,84%	
ИМТ						p-уровень
Нормальная масса тела	10 52,63%	9 50%	12 60%	9 45%	76 55,47%	0,88
Предожирение	9 47,37%	9 50%	8 40%	11 55%	61 44,53%	
Оценка AOFAS						p-уровень
неудовлетворительно	8 42,11%	8 44,44%	6 30%	5 25%	60 43,8%	0,69
удовлетворительно	8 42,11%	9 50%	11 55%	10 50%	57 41,61%	
хорошо	3 15,79%	1 5,56%	3 15%	5 25%	20 14,6%	

Продолжение таблицы 2.5.

Уровень деформации						p-уровень
Легкий	2 10,53%	2 11,11%	7 35%	4 20%	30 21,9%	0,31
Средний	17 89,47%	16 88,89%	13 65%	16 80%	107 78,1%	
Дополнительная остеотомия Akin						p-уровень
Да	10 52,63%	12 66,67%	15 75%	7 35%	71 51,82%	0,1
Нет	9 47,37%	6 33,33%	5 25%	13 65%	66 48,18%	
Дополнительные остеотомии						p-уровень
II,III,IV,V плюсневые кости	6 31,58%	4 22,22%	4 20%	3 15%	25 18,25%	0,56
II,III,V плюсневые кости	2 10,53%	3 16,67%	1 5%	3 15%	13 9,49%	
II, V плюсневые кости	6 31,58%	1 5,56%	1 5%	5 25%	17 12,41%	
V плюсневая кость	5 26,32%	5 27,78%	9 45%	6 30%	59 43,07%	
нет	0 0%	5 27,78	5 25	3 15	23 16,79	

Подгруппы без дополнительных остеотомий. В подгруппу, где не выполнялись дополнительные остеотомии, вошло 99 пациентов, из них было 95 (95.96 %) женщин, и 4 (4.04 %) мужчин. Средний возраст пациентов в выборке без дополнительных остеотомий составил 54.69 ± 11.66 лет. Основные показатели подгрупп указаны в Таблица 2.6, Таблица 2.7.

При проверке однородности распределения между группами статистически значимой разницы не было выявлено по всем показателям (Таблица 2.7, Таблица 2.8).

Таблица 2.6. Описательная статистика 5 групп в подгруппах без дополнительных остеотомий по показателям: возраст, ИМТ, AOFAS, VASFA, MOXFQ, HVIP, HVA, IMA, DMAA, а также оценка однородности между группами (p-уровень значимости). Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Параметр	Группа №1 (n=29)	Группа №2 (n=29)	Группа №3 (n=34)	Группа №4 (n=34)	Группа №5 (n=187)	p-уровень
Возраст (лет)	54,5±11,36	52,27±8,27	53,29±7,59	53,43±12,88	56±13,08	0,49
ИМТ ($кг/м^2$)	24,93±2,7	24,17±3,56	24,92±3,24	23,82±2,45	25,07±3,11	0,57
AOFAS (баллы)	59±8,21	54,27±19,67	60,5±17,98	61,07±15,72	56,36±15,57	0,79
VASFA (баллы)	75,5±13,19	68,41±23,38	60,25±15,79	72,57±14,26	64,73±16,5	0,13
MOXFQ (баллы)	56,38±14,42	53,98±23,15	54,82±14,02	63,57±21,45	63,9±16,79	0,21
HVIP (градусы)	14,44±5,45	12,01±5,96	12,92±5,06	9,33±4,53	11,57±3,83	0,17
HVA (градусы)	21,47±4,42	25,51±4,05	23,66±3,94	25,17±5,08	22,93±5,24	0,11
IMA (градусы)	16,35±2,07	15,14±2,32	15,98±1,72	16,8±2,39	15,74±2,66	0,43
DMAA (градусы)	7,94±5,07	8,25±4,6	9,55±4,13	8,84±3,53	9,88±5,13	0,66

Таблица 2.7. Описательная статистика 5 групп в подгруппах без дополнительных остеотомий по показателям пола, ИМТ, оценки AOFAS, уровню деформации, наличию остеотомии Akin и остеотомий других плюсневых костей, а также оценка однородности между группами (p-уровень значимости). Запись: абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)

Параметр	Группа №1 (n=29)	Группа №2 (n=29)	Группа №3 (n=34)	Группа №4 (n=34)	Группа №5 (n=187)	
Пол						p-уровень
Женский	10 100%	11 100%	12 85,71%	12 85,71%	50 100%	0,13
Мужской	0 0%	0 0%	2 14,29%	2 14,29%	0 0%	

Продолжение таблицы 2.7.

ИМТ						p-уровень
Нормальная масса тела	4 40%	6 54,55%	6 42,86%	11 78,57%	20 40%	0,13
Предожирение	6 60%	5 45,45%	8 57,14%	3 21,43%	30 60%	
Оценка AOFAS						p-уровень
неудовлетворительно	2 20%	3 27,27%	3 21,43%	3 21,43%	18 36%	0,61
удовлетворительно	8 80%	6 54,55%	7 50%	8 57,14%	23 46%	
хорошо	0 0%	2 18,18%	4 28,57%	3 21,43%	9 18%	
Уровень деформации						p-уровень
Легкий	5 50%	1 9,09%	2 14,29%	2 14,29%	22 44%	0,12
Средний	5 50%	10 90,91%	12 85,71%	12 85,71%	28 56%	

2.3.5. Методы обследования пациентов

Проведение анализа эффективности оперативного лечения было основано на данных рентгенологического, клинического методов исследования, включая субъективный метод: анкетирование. Полученные данные были обработаны с помощью специализированных пакетов Statistica v.12 обработки статистических данных с применением соответствующих методик.

Клинический метод исследования и анкетирование. Для определения показаний и противопоказаний к операции проводились осмотр и клиническая оценка стоп. Клинически производилась оценка деформации пальцев стопы, степень выраженности псевдоэкзостозов, форма стопы, объем и болезненность движений в плюснефаланговых суставах, ригидность стопы, способность при напряжении мышц голени устранять деформацию. Также производилась оценка стабильность плюсне-клиновидного сустава клинически.

Все пациенты прошли анкетирование по шкалам AOFAS (максимально 100 баллов) и VASFA (максимально 100 баллов), MOXFQ (максимально 100 баллов) до операции, через 6 и 12 месяцев после операции (см. приложение).

При оценке функции стопы применялась шкала клинической оценки заболеваний стопы и голеностопного сустава Американской Ассоциации Ортопедов Стопы и Голеностопного Сустава (AOFAS) (максимально 100 баллов) (см. приложение). Результат менее 51 балла оценивали, как «плохой», от 51 до 75 как «удовлетворительный», от 76 до 90 - «хороший», более 90 - «отличный». [189].

При использовании визуальной аналоговой шкалы оценки функционального состояния стопы и голеностопного сустава (Visual Analogue Scale Foot and Ankle) применяли следующую формулу перевода баллов в 100-бальную систему: сумма баллов/2 [15, 196].

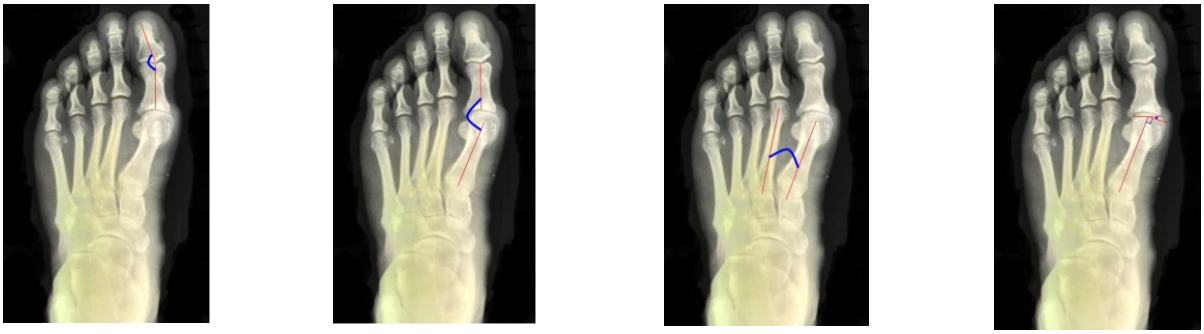
При использовании анкеты Манчестерско-Оксфордской анкеты для стоп MOXFQ (Manchester-oxford foot questionnaire) применяли следующую формулу перевода баллов в 100-бальную систему: сумма баллов*6,25/5 [73, 74].

На 12й месяц и 24 месяц после операции определяли рецидивы деформации, а также регистрировали осложнения. Эти данные также анализировались с оценкой статистической значимости различий между группами.

Также на 24 месяц наблюдения проводили оценку наличия боли в переднем отделе стопы при нормальной ходьбе (метатарзалгий) и тугоподвижности в первом плюснефаланговом суставе, которую определяли как снижение тыльного сгибания более, чем на 20% по сравнению с неповреждённой стопой или менее 60% объема движений от средней нормы, за которую принимали разгибание 70 градусов и сгибание 35 градусов, с общим объемом движений 105 градусов [107].

Рентгенологический метод исследования. Тяжесть деформации HV определяли на рентгенограммах переднего отдела стопы в дорсоплантарной и боковой проекциях, выполненных с нагрузкой. Проводили измерения следующих угловых показателей: межфаланговый угол Hallux valgus (hallux valgus interphalangeal angle - HVIPA), угол HV (hallux valgus angle - HVA),

интраметатарзальный угол (intermetatarsal angle - IMA), угол наклона суставной площадки (distal metatarsal articular angle - DMAA) (Рисунок 2.21).



1 2 3 4

Рисунок 2.21. Измерения угловых показателей: (1) первый межфаланговый угол (HVIPA), (2) угол HV (HVA), (3) интраметатарзальный угол (IMA), (4) угол наклона суставной площадки (DMAA).

Дорсоплантарные рентгенограммы выполняли с расстоянием между трубкой рентгеновского излучателя и пленкой 1 м, при этом рентгеновская трубка была центрирована на предплюсневом суставе и повернута под углом 15 градусов к голеностопному суставу относительно подошвенной плоскости стопы.

При определении угла IMA контрольные точки располагались в проксимальной и дистальной метафизарных областях, равноудаленных от медиального и латерального кортикального слоя первой и второй плюсневых костей. Угол, полученный пересечением осей, принимался как угол IMA. В норме угол считался размером менее 9 градусов, легкая деформация определялась при величине угла от 9 до 11 градусов, умеренная деформация - более 11 и менее 16 градусов, а тяжелая деформация - более 16 градусов [66, 76, 191].

Угол HVA считали одним из важнейших показателей деформации. Его значение определяли проведением осей на первой плюсневой кости и проксимальной фаланге первого пальца таким образом, чтобы они делили пополам диафиз в проксимальной и дистальной метафизарных областях, равноудаленных от медиального и латерального кортикального слоя проксимальной фаланги и первой

плюсневой кости. Угол, создаваемый пересечением этих осей, принимали за угол HVA. За норму принимали значение HVA угла менее 15 градусов, за лёгкую деформацию - менее 20 градусов, умеренную деформацию - от 20 до 40 градусов, тяжелую деформацию - более 40 градусов. Совместная оценка углов HVA и IMA позволяла определить показания к операции, а также контролировать стабильность коррекции деформации после операции. Согласно критериям включения в исследование, остеотомию scarf выполняли при легких и средних деформациях с углом HVA до 40 градусов [66, 199].

DMAA определяли как отношение дистальной суставной поверхности первой плюсневой кости к её продольной оси. Контрольные точки измерения угла располагали наиболее медиально и латерально на дистальной суставной поверхности первой плюсневой кости. Линия, соединяющая эти точки, определяла боковой наклон суставной поверхности. Другая линия проводилась перпендикулярно этой суставной линии. Угол, образованный этой перпендикулярной линией и продольной диафизарной осью первой плюсневой кости, определял DMAA. За норму этого показателя принимали 6 градусов или менее [66].

Угол HVIPA - это угол между продольными осями проксимальной и дистальной фаланг первого пальца стопы. Оси располагались таким образом, чтобы они делили пополам диафиз в проксимальном и дистальном метафизарных областях, равноудаленных от медиального и латерального кортикального слоя проксимальной фаланги и дистальной фаланги первого пальца стопы [142, 212].

Пациентам, которым планировалась применение трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя выполнялась МСКТ с нагрузкой по методике, описанной в пункте «2.2.1 Разработка метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя».

2.3.6. Хирургическая техника

Все операции были выполнены под регионарной анестезией с блокадой седалищного нерва под ультразвуковой визуализацией в положении лежа на спине и при наложении пневматического турникета с использованием одной и той же техники, описанной в работе «SCARF-Osteotomie» Trnka H. J. И коллег в 2017 [222].

Производили разрез кожи с медиальной стороны в области первого плюснефалангового сустава от проксимальной трети основной фаланги большого пальца стопы до середины первой плюсневой кости. Подкожную клетчатку смещали в тыльную и подошвенную области и фиксировали с использованием тупых крючков. Подошвенную долю капсулы первого плюснефаланогового сустава сначала отделяли от основной фаланги, а затем от подошвенной доли головки первой плюсневой кости с сохранением подошвенной питающей артерии. Далее суставную капсулу отодвигали дорсально с сохранением питающих сосудов. Первый палец стопы приводили в состояние подвывиха кнаружи. Для увеличения мобильности головки первой плюсневой кости тупым препарированием проводили релиз пространства между головкой первой плюсневой кости и сесамовидными костями.

При выполнении операции по традиционной технике медиальный псевдоэкзостоз первой плюсневой кости экономично удаляли по борозде экзостоза осциллирующей пилой с формированием поверхности опила в форме оливы до проведения Z-образной остеотомии.

Проводили спицу Киршнера с точкой входа у головки первой плюсневой кости с направлением на головку IV плюсневой кости. Вторую спицу Киршнера проводили с точкой входа на проксимальной трети медиальной поверхности первой плюсневой кости параллельно первой. Осциллирующей пилой формировали Z-образный распил между двумя спицами Киршнера.

При выполнении операции с использованием индивидуального шаблона-направителя, экзостоз удаляли после проведения Z-образной остеотомии. После

выполнения хирургического доступа шаблон устанавливали до плотного контакта с костью, согласно индивидуальной форме экзостоза, и производили Z-образный распил по направителю. Далее удаляли экзостоз по технике, описанной выше. Дистальный фрагмент первой плюсневой кости мобилизовали и смещали в поперечном направлении на запланированную ширину. Далее через оба остеотомированных фрагмента проводили две направляющих спицы Киршнера для винтов 2,0 мм перпендикулярно продольной оси плюсневой кости, после чего по спицам устанавливали канюлированные винты диаметром 2,0 мм. Часть выступающей медиально кости проксимального фрагмента удаляли осциллирующей пилой по уровню кортикального слоя диафиза.

Хирургическая техника остеотомии Akin. Остеотомию Akin выполняли следующим образом: выполняли открытоугольную остеотомию основания проксимальной фаланги первого пальца с выполнением одного опила параллельно линии суставной поверхности первого плюснефалангового сустава, а второго – параллельно суставной поверхности межфалангового сустава. После сопоставления поверхностей производили предварительную фиксацию спицей Киршнера в дорсоплантарном направлении перпендикулярно плоскости остеотомии, по которой осуществляли фиксацию канюлированным винтом диаметром 2мм.

Хирургическая техника остеотомий других плюсневых костей. Дополнительные остеотомии других плюсневых костей выполняли с помощью бура субкапитально через прокол или небольшой разрез с дорсальной стороны в проекции субкапитальной зоны соответствующей плюсневой кости.

Завершение операции. Шов медиальной суставной капсулы выполняли U-образными швами, удерживая большой палец стопы в положении желаемой коррекции. Рану закрывали внутрикожным швом с помощью рассасывающегося материала. Затем накладывали мягкую повязку для предотвращения послеоперационного отека и фиксации пальцев положении желаемой коррекции.

Для определения влияния изучаемых факторов на качество проведения корригирующей остеотомии проводили контроль времени операции. Началом

операции считали наложение пневматического турникета на нижнюю треть голени. Концом операции считали наложение последнего кожного шва.

2.3.7. Послеоперационное ведение

Выписку пациентов из стационара проводили на второй день после операции. С этого дня пациентам разрешали нагрузку на оперированную нижнюю конечность в послеоперационной обуви (ботинок Барука) в течение 4 недель с момента операции с последующим переходом на обычную обувь [162]. В течение первой недели после операции производили наложение корректирующей бинтовой повязки. Швы снимали на 14 сутки после операции. С пятой недели после операции начинали проведение занятий ЛФК [162], которые проводились специалистами ЛФК до 5-8 недель после операции. При этом выполняли активные упражнения, направленные на укрепление мышц голени, мануальную разработку движений в плюснефаланговых суставах.

2.3.8. Контрольные точки исследования

Все пациенты прошли анкетирование по шкалам AOFAS (100 баллов) и VAS (100 баллов), MOXFQ (100 баллов) до операции, через 6, 12 и 24 месяца после операции. Всем пациентам проводили рентгенологический контроль сразу после операции, на 3й месяц после операции, 12й месяц после операции. Объективную оценку качества устранения деформации HV проводили на 12й месяц и 24 месяц после операции по 4 угловым показателям: hallux valgus межфаланговый угол (interphalageal angle - HVIPA), угол hallux valgus (hallux valgus angle - HVA), первый межплюсневый угол (intermaetatarsal angle - IMA), угол наклона дистальной суставной поверхности к ось первой плюсневой кости (distal metaphyseal articular angle - DMAA) (Рисунок 2.22).

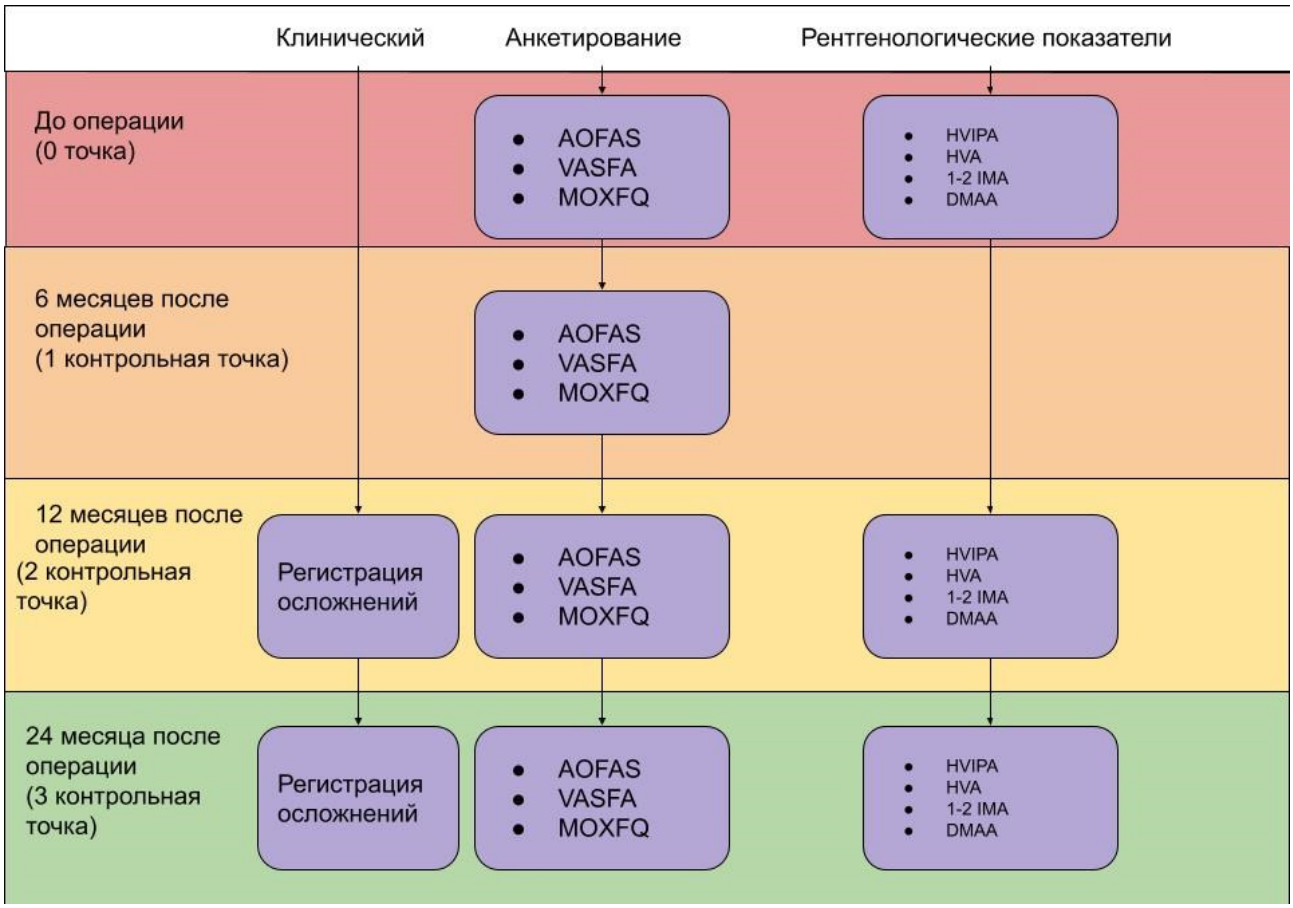


Рисунок 2.22. Контрольные точки исследования.

Проведение рентгенографического контроля на 6-й месяц не проводили, считая срок 12 месяцев более информативным для рентгенологического контроля, так как на этом сроке можно более объективно судить о восстановлении функции и о формировании рецидива деформации. [222].

2.3.9. Методы статистической оценки данных

Расчет статистических данных проводили с использованием программы Statistica v.12 с применением встроенных пакетов расчетов по критериям.

Для определения нормальности распределения применяли критерии Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. При проверке влияния неоднородного

распределения по гендерному признаку проводили однофакторный анализ методом логической регрессии.

При исследовании попарного сравнения 2 групп в четвертой главе при исследовании непрерывных переменных применяли критерий Манна-Уитни для независимых непараметрических выборок и t-критерий Стьюдента для независимых параметрических выборок. Для определения зависимых непрерывных величин применяли t-критерий Стьюдента для зависимых параметрических выборок и критерий Вилкоксона для независимых параметрических выборок. При исследовании попарного сравнения 3 групп в пятой главе при исследовании непрерывных переменных применяли однофакторный дисперсионный анализ для независимых параметрических выборок (ANOVA для независимых выборок) и дисперсионный анализ для повторных наблюдений (ANOVA для повторных наблюдений) для зависимых параметрических выборок. Для определения зависимых непрерывных величин применяли критерий Фридмана для зависимых параметрических выборок и критерий Краскела-Уолиса для независимых параметрических выборок. Во всех главах для определения независимых качественных переменных применяли Хи-квадрат Пирсона с поправкой на правдоподобие, для малых выборок применяли точный критерий Фишера, для определения зависимых качественных переменных применяли Q-критерий Коккера.

ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ШАБЛОНА-НАПРАВИТЕЛЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕНОСА ДАННЫХ, РАССЧИТАННЫХ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ, НА РЕАЛЬНУЮ ОПЕРАЦИЮ

В этой главе представлены и проанализированы результаты эксперимента и первой части клинического исследования. Экспериментальная часть включала в себя несколько этапов. Сначала была проведена разработка метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести. Затем 54 пациентам с диагнозом приобретенная вальгусная деформация первого пальца стопы легкой и средней тяжести была выполнена МСКТ стоп, на основании которых по описанной выше технологии была выполнена печать индивидуальных моделей стоп с виртуальным планированием операции scarf и созданием индивидуальных шаблонов-направителей. Затем операцию scarf выполняли на индивидуальных печатных моделях с применением созданных индивидуальных шаблонов-направителей. После этого 54 пациентам, на основании МСКТ стоп которых выполняли экспериментальную часть исследования, выполнена операция остеотомии scarf в реальных условиях с использованием тех же индивидуальных шаблонов-направителей, которые были применены в ходе эксперимента на индивидуальных печатных моделях стоп. Показатели коррекции деформации IMA и HVA, полученные при планировании в виртуальной среде, полученные после операции на индивидуальных печатных моделях и после операции, выполненной пациентам в реальных условиях, сравнивались между собой. В этой главе представлены решения задач разработки метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести, а также сравнения результатов коррекции приобретённой вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести, рассчитанных в виртуальной

среде, с данными, полученными в результате биомеханического эксперимента на индивидуальной печатной модели стопы, а также данными, полученными после выполнения операции остеотомии scarf в реальных условиях с использованием индивидуального шаблона-направителя. Результаты этой части исследования необходимы для понимания того, насколько метод трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя адекватен в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести и применим в клинических условиях.

3.1. Характеристика результатов

По результатам исследования были получены следующие данные: средний HVA при расчетах в виртуальной среде составил 7,37 ± 2,07 градусов, IMA при расчетах составил 8,35 ± 0,95 градусов. После выполнения операции на моделях средний HVA составил 7,6 ± 3,47 градусов, а IMA составил 7,83 ± 2,03 градусов. Средний HVA после выполнения реальной операции составил 7,71 ± 3,08 градусов, IMA составил 7,87 ± 1,63 градусов. Статистически значимой разницы между группами по HVA и IMA не было выявлено. Для большей наглядности результаты представлены в виде таблицы (Таблица 3.1).

Таблица 3.1. Сравнительный анализ результатов по показателям HVA и IMA между группами трехмерного планирования, операции на пластиковых костях и операции в реальных условиях (V – данные виртуального планирования в трехмерной среде; P – данные после операции, проведённой на печатной модели; R- данные операции, проведенной в реальных условиях). Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

HVA в 3d (градусы)	HVA после операции на моделях (градусы)	HVA после операции (градусы)	IMA в 3d (градусы)	IMA после операции на моделях (градусы)	IMA после операции (градусы)
7,37±2,07	7,6±3,47	7,71±3,08	8,35±0,95	7,83±2,03	7,87±1,63

Продолжение таблицы 3.1.

p-уровень			
V & P	1	V & P	0,34
V & R	1	V & R	0,34
P & R	1	P & R	0,95

Также результаты представлены в виде сочетанной диаграммы box-plot и violin (Рисунок 3.1).

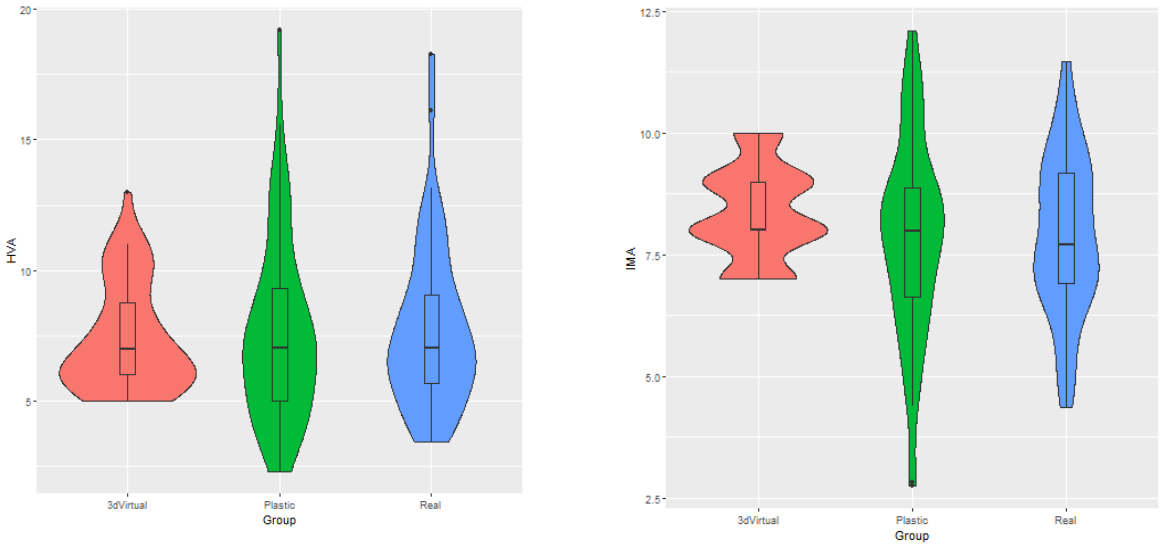
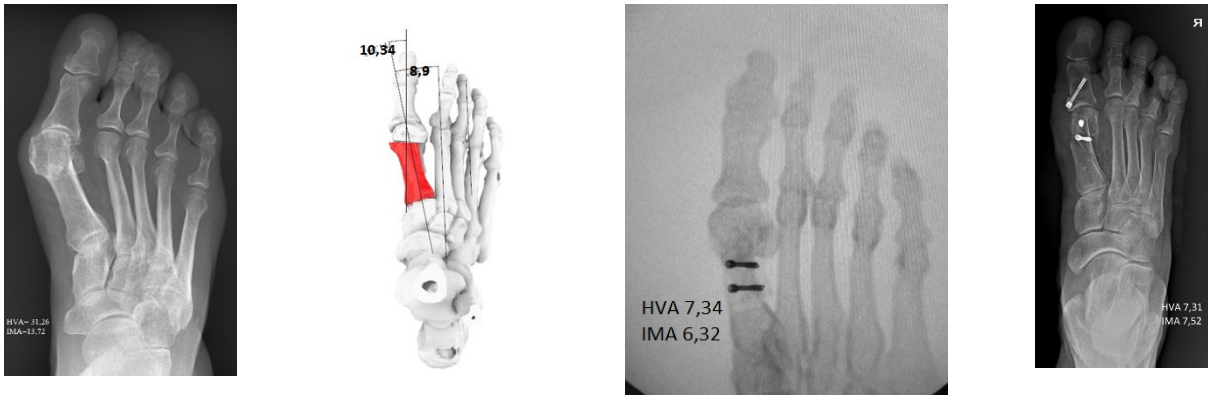


Рисунок 3.1. Сравнительный анализ по показателям HVA и IMA между группами трехмерного планирования (красный), операции на пластиковых костях (зеленый) и операции в реальных условиях (синий).

Клинический пример №1. Результаты были включены в экспериментальную часть исследования

Пациентка З., 52 лет. Исходные деформации: HVA - 31,26 градусов, IMA - 13,72 градусов. По результатам виртуального планирования намечено получение следующих результатов: HVA - 10,34 градусов, IMA - 8,9 градусов. Результаты после операции на печатной модели: HVA - 8,79 градусов, IMA - 7,8 градусов.

Результаты после реально выполненной операции: HVA - 7,23 градусов, IMA - 7,21 градусов (Рисунок 3.2).



А Б В Г

Рисунок 3.2. А. Дорсоплантарная проекция стопы до операции с исходными углами IMA=13,72 градусов и HVA= 31,26 градусов; Б. Виртуальное планирование коррекции с заданным значением углов IMA=8,9 и HVA= 10,34. В. Дорсоплантарная проекция печатной модели стопы после операции с полученными углами IMA=6,32 и HVA= 7,34; Г. Дорсоплантарная проекция стопы сразу после операции с полученными углами IMA= 7,52 и HVA= 7,31.

3.2. Анализ полученных результатов

В ходе экспериментальной части нашего исследования на первом его этапе была проведена разработка метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести с последующим выполнением операций остеотомии scarf на пластиковых моделях стоп с использованием индивидуального шаблона-направителя [3, 22–25]. Результаты сравнения углов HVA и IMA в этих группах показали, что желаемый угол HVA после коррекции при трёхмерном планировании составлял 7,37±2,07 градуса, угол IMA - 8,35±0,95 градусов. При выполнении операции остеотомии на печатных пластиковых моделях стоп с использованием индивидуальных

шаблонов-направителей величины этих углов составили 7,6±3,47 градусов и 7,83±2,03 градусов соответственно. При сравнении данных, полученных при планировании в виртуальной среде, и результатов остеотомии на пластиковых моделях достоверных различий не получено. Таким образом, было доказано, что метод трехмерного планирования позволяет на основе результатов компьютерной томографии пациентов с приобретенной вальгусной деформацией первой пальца стопы легкой и средней тяжести создать виртуальную и печатную модели стопы, а также индивидуальный шаблон-направитель для выполнения остеотомии scarf. Тем самым была решена первая задача настоящего исследования и была обеспечена возможность перехода от экспериментальной к клинической его части.

На первом этапе клинической части исследования 54 пациентам, на основании МСКТ стоп которых выполнялся экспериментальный этап исследования, выполнена операция остеотомии scarf в реальных условиях с использованием тех же индивидуальных шаблонов-направителей, которые были применены в ходе эксперимента. В результате угол HVA после операции, выполненной в реальных условиях, составил 7,71±3,08 градусов, угол IMA - 7,87±1,63 градуса.

При сравнении результатов данных коррекции приобретённой вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести, полученных после выполнения операции остеотомии scarf в реальных условиях с использованием индивидуального шаблона-направителя с данными, рассчитанными в виртуальной среде, и с данными, полученными в результате биомеханического эксперимента на индивидуальной печатной модели стопы, достоверных различий в показателях HVA и IMA не получено не получено.

Таким образом, нами была доказана техническая возможность планирования операции остеотомии scarf при коррекции приобретенной вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести, а также последующей печати индивидуальной модели стопы и индивидуального шаблона-направителя. Результаты остеотомии на пластиковой модели стопы с использованием индивидуального шаблона-направителя показали точность переноса данных виртуального планирования на пластиковую модель и создали предпосылки для

начала применения исследуемой технологии в клинической практике. Результаты, полученные в первой части клинического исследования, а именно отсутствие достоверных различий в показателях HVA и IMA при сравнении данных виртуального планирования и результатов операций на пластиковых моделях стоп, показали возможность применения метода в клинической практике. Тем самым была решена вторая задача диссертационного исследования.

Однако, вопросы о том, какое место в реальной клинической практике может занять исследуемый метод и насколько он будет эффективен в практике хирургов, обладающих разным опытом выполнения операций, оставались открытыми. Для ответа на них требовались дальнейшие исследования с объективизацией клинических показателей лечения пациентов с приобретенной вальгусной деформацией переднего отдела стопы легкой и средней тяжести с применением предложенного метода и без неё. Представлялось логичным то, что следующий этап исследования должен быть выполнен опытным хирургом для исключения влияния субъективных факторов, связанных с недостаточными навыками выполнения стандартного предоперационного планирования и мануальными навыками выполнения операции. Этому и будет посвящена следующая глава настоящего диссертационного исследования.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТРЕХМЕРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С СОЗДАНИЕМ ШАБЛОНА-НАПРАВИТЕЛЯ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПРИОБРЕТЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕДНЕГО ОТДЕЛА СТОПЫ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ ТЯЖЕСТИ ОСТЕОТОМИЕЙ SCARF ОПЫТНЫМ ХИРУРГОМ

После определения принципиальной возможности выполнения операции остеотомии scarf с применением метода трёхмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя встал вопрос о клинической значимости предложенного метода и её месте в хирургии приобретённой вальгусной деформации переднего отдела стопы. Для начала решения этого вопроса нами был проведен второй этап клинического исследования, на котором сформированы первая и вторая группы клинической части исследования. Разделение на группы было проведено следующим образом: в первой клинической группе (29 стоп) был выполнен 29 пациентам стандартный комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий, во второй клинической группе такому же числу пациентов (29 стоп) выполнен комплекс предоперационного планирования с применением аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, который применялся на операции. Все операции в двух группах были выполнены опытным хирургом, выполнившим на момент начала исследования более 1000 подобных операций. Оценка анатомических и функциональных среднесрочных и отдаленных результатов использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести в сравнении с традиционной технологией планирования и выполнения операции должна была показать влияние предложенной технологии на качество выполнения операции опытным хирургом. Кроме того, для определения величины влияния выполнения дополнительных остеотомий основной фаланги первого пальца и других плюсневых костей

выполнено сравнение подгрупп с выполнением дополнительных остеотомий и без них.

4.1. Результаты исследования в первой и второй группах

Среднее время операции в первой группе составило 32,41 ± 6,63 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в первой группе во всей выборке составило 78,59 ± 9,03 баллов. При этом у 11 пациентов (37,93 %) результат оценен как удовлетворительный, у 14 (48,28 %) - хороший, у 4 (13,79 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов первой группы во всей выборке составил 72,64 ± 14,13 баллов, по шкале MOXFQ - 50,22 ± 15,6 баллов. Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в первой группе во всей выборке составил 85,28 ± 8,22 баллов. При этом у 4 пациентов (13,79 %) результат оценен как удовлетворительный, у 17 (58,62 %) - хороший, у 8 (27,59 %) – отличный.

Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в первой группе во всей выборке по шкале VASFA составил 89,95 ± 7,01 баллов, по шкале MOXFQ - 37,07 ± 11,73 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в первой группе во всей выборке составило 7,92 ± 5,5 градусов, HVA - 6,25 ± 2,29 градусов, IMA - 7,35 ± 2,11 градусов, DMAA - 6,72 ± 1,87 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в первой группе во всей выборке составило 84,48 ± 8,1 баллов. При этом у 1 пациентов (3,45 %) результат оценен как удовлетворительный, у 19 (65,52 %) - хороший, у 9 (31,03 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов первой группы составил 86,02 ± 7,02 баллов, по шкале MOXFQ - 31,14 ± 9,11 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в первой группе во всей выборке составило 8,51 ± 5,44 градусов, HVA - 6,8 ± 2,36 градусов, IMA - 7,78 ± 1,86 градусов, DMAA - 6,91 ± 1,7 градусов.

На этом сроке в первой группе во всей выборке было зарегистрировано 4 (13,79 %) случая метатарзалгий, 3 (10,34 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации не было зарегистрировано.

Среднее время операции во второй группе составило 31,21 ± 6,5 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции во второй группе во всей выборке составило 82,79 ± 10,1 баллов. При этом у 7 пациентов (24,14 %) результат оценен как удовлетворительный, у 13 (44,83 %) - хороший, у 9 (31,03 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов во второй группы во всей выборке составил 78,21 ± 13,13 баллов, по шкале MOXFQ - 47,03 ± 13,99 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS во второй группе во всей выборке составил 85,62 ± 9,29 баллов. При этом у 4 пациентов (13,79 %) результат оценен как удовлетворительный, у 17 (58,62 %) - хороший, у 8 (27,59 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования во второй группе во всей выборке по шкале VASFA составил 88,9 ± 8,72 баллов, по шкале MOXFQ - 34,35 ± 12,37 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP во второй группе во всей выборке составило 8,28 ± 5,1 градусов, HVA - 5,66 ± 2,57 градусов, IMA - 7,21 ± 1,95 градусов, DMAA - 6,15 ± 1,94 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции во второй группе во всей выборке составило 87,48 ± 11,48 баллов. При этом у 3 пациентов (10,34 %) результат оценен как удовлетворительный, у 12 (41,38 %) - хороший, у 14 (48,28 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов второй группы составил 90,24 ± 9,16 баллов, по шкале MOXFQ - 30,15 ± 12,42 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP во второй группе во всей выборке составило 9,37 ± 4,44 градусов, HVA - 6,12 ± 2,4 градусов, IMA - 8,08 ± 1,69 градусов, DMAA - 6,28 ± 2,3 градусов. На этом сроке во второй группе во всей выборке было зарегистрировано 4 (13,79 %) случая метатарзалгий, 3 (10,34 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации не было зарегистрировано.

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между группами. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении первой и второй групп. Также не отмечено достоверных различий во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 4.1, Таблица 4.2).

Таблица 4.1. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц 1,2 группы во всей выборке. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Параметр	Группа №1 (n= 29)	Группа №2 (n= 29)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц (баллы)	78,59±9,03	82,79±10,1	0,09
VASFA на 6й месяц (баллы)	72,64±14,13	78,21±13,13	0,13
MOXFQ на 6й месяц (баллы)	50,22±15,6	47,03±13,99	0,45
AOFAS на 12й месяц (баллы)	85,28±8,22	85,62±9,29	0,71
VASFA на 12й месяц (баллы)	89,95±7,01	88,9±8,72	0,83
MOXFQ на 12й месяц (баллы)	37,07±11,73	34,35±12,37	0,33
HVIP на 12й месяц (градусы)	7,92±5,5	8,28±5,1	0,71
HVA на 12й месяц (градусы)	6,25±2,29	5,66±2,57	0,32
IMA на 12й месяц (градусы)	7,35±2,11	7,21±1,95	0,94
DMAA на 12й месяц (градусы)	6,72±1,87	6,15±1,94	0,24
AOFAS на 24й месяц (баллы)	84,48±8,1	87,48±11,48	0,2
VASFA на 24й месяц (баллы)	86,02±7,02	90,24±9,16	0,04
MOXFQ на 24й месяц (баллы)	31,14±9,11	30,15±12,42	0,5

Продолжение таблицы 4.1.

Параметр	Группа №1 (n= 29)	Группа №2 (n= 29)	p-уровень
HVIP на 24й месяц (градусы)	8,51±5,44	9,37±4,44	0,31
HVA на 24й месяц (градусы)	6,8±2,36	6,12±2,4	0,22
IMA на 24й месяц (градусы)	7,78±1,86	8,08±1,69	0,85
DMAA на 24й месяц (градусы)	6,91±1,7	6,28±2,3	0,27
Длительность операции (минуты)	32,41±6,63	31,21±6,5	0,47

Таблица 4.2. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 1,2 группы (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

Параметр	Группа №1 (n= 29)		Группа №2 (n= 29)		
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц					p-уровень
отлично	4	13,79%	9	31,03%	0,24
удовлетворительно	11	37,93%	7	24,14%	
хорошо	14	48,28%	13	44,83%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц					p-уровень
отлично	8	27,59%	8	27,59%	1
удовлетворительно	4	13,79%	4	13,79%	
хорошо	17	58,62%	17	58,62%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц					p-уровень
отлично	9	31,03%	14	48,28%	0,16
удовлетворительно	1	3,45%	3	10,34%	
хорошо	19	65,52%	12	41,38%	
Осложнения к 24му месяцу					p-уровень
Метатарзалгии	4	13,79%	4	13,79%	1
Тугоподвижность	3	10,34%	3	10,34%	
Рецидив деформации	0	0%	0	0%	

4.2. Результаты исследования в первой и второй группе в подгруппах дополнительных остеотомий

Среднее время операции в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 33,61 ± 6,37 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 77,94 ± 10,76 баллов. При этом у 9 пациентов (50 %) результат оценен как удовлетворительный, у 6 (33,33 %) - хороший, у 3 (16,67 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов первой группы в подгруппе дополнительных остеотомий составил 75,81 ± 14,22 баллов, по шкале MOXFQ - 46,32 ± 15,2 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий составил 84,61 ± 8,05 баллов. При этом у 2 пациентов (11,11 %) результат оценен как удовлетворительный, у 12 (66,67 %) - хороший, у 4 (22,22 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 88,56 ± 7,79 баллов, по шкале MOXFQ - 38,54 ± 12,09 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 6,88 ± 5,18 градусов, HVA - 6,01 ± 2,52 градусов, IMA - 7,25 ± 1,57 градусов, DMAA - 6,36 ± 1,94 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 84,44 ± 8,61 баллов. При этом у 1 пациентов (5,56 %) результат оценен как удовлетворительный, у 12 (66,67 %) - хороший, у 5 (27,78 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов первой группы составил 84,67 ± 8,01 баллов, по шкале MOXFQ - 31,61 ± 9,31 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 7,42 ± 5,05 градусов, HVA - 6,52 ± 2,6 градусов, IMA - 7,97 ± 1,35 градусов, DMAA - 6,87 ± 1,84 градусов.

На этом сроке в первой группе в подгруппе дополнительных остеотомий было зарегистрировано 2 (11,11 %) случая метатарзалгий, 1 (5,56 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации не было зарегистрировано.

Среднее время операции во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 31,58 ± 6,88 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 81,26 ± 10,94 баллов. При этом у 6 пациентов (31,58 %) результат оценен как удовлетворительный, у 8 (42,11 %) - хороший, у 5 (26,32 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов второй группы в подгруппе дополнительных остеотомий составил 76,58 ± 14,69 баллов, по шкале MOXFQ - 48,09 ± 13,87 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий составил 85,16 ± 9,96 баллов. При этом у 3 пациентов (15,79 %) результат оценен как удовлетворительный, у 11 (57,89 %) - хороший, у 5 (26,32 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 89,32 ± 7,49 баллов, по шкале MOXFQ - 35,07 ± 12,29 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 7,72 ± 5,08 градусов, HVA - 5,92 ± 2,73 градусов, IMA - 7,5 ± 1,65 градусов, DMAA - 5,85 ± 2,01 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 86,63 ± 12,07 баллов. При этом у 3 пациентов (15,79 %) результат оценен как удовлетворительный, у 8 (42,11 %) - хороший, у 8 (42,11 %) – отличный. На

этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов второй группы составил 90,16 ± 9,04 баллов, по шкале MOXFQ - 30,86 ± 12,82 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий составило 8,69 ± 4,56 градусов, HVA - 6,26 ± 2,66 градусов, IMA - 8,03 ± 1,37 градусов, DMAA - 5,95 ± 2,22 градусов.

На этом сроке во второй группе в подгруппе дополнительных остеотомий было зарегистрировано 3 (15,79 %) случая метатарзалгий, 3 (15,79 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации не было зарегистрировано.

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между группами в подгруппе дополнительных остеотомий. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении первой и второй групп в подгруппе дополнительных остеотомий. Также не отмечено достоверных различий во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 4.3, Таблица 4.4).

Таблица 4.3. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, времени операции 1,2 группы в подгруппах дополнительных остеотомий. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Параметр	Группа №1 (n= 29)	Группа №2 (n= 29)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц (баллы)	77,94±10,76	81,26±10,94	0,36
VASFA на 6й месяц (баллы)	75,81±14,22	76,58±14,69	0,8
MOXFQ на 6й месяц (баллы)	46,32±15,2	48,09±13,87	0,68
AOFAS на 12й месяц (баллы)	84,61±8,05	85,16±9,96	0,56
VASFA на 12й месяц (баллы)	88,56±7,79	89,32±7,49	0,66
MOXFQ на 12й месяц (баллы)	38,54±12,09	35,07±12,29	0,33
HVIP на 12й месяц (градусы)	6,88±5,18	7,72±5,08	0,54
HVA на 12й месяц (градусы)	6,01±2,52	5,92±2,73	0,89

Продолжение таблицы 4.3.

Параметр	Группа №1 (n= 29)	Группа №2 (n= 29)	p-уровень
IMA на 12й месяц (градусы)	7,25±1,57	7,5±1,65	0,68
DMAA на 12й месяц (градусы)	6,36±1,94	5,85±2,01	0,37
AOFAS на 24й месяц (баллы)	84,44±8,61	86,63±12,07	0,37
VASFA на 24й месяц (баллы)	84,67±8,01	90,16±9,04	0,16
MOXFQ на 24й месяц (баллы)	31,61±9,31	30,86±12,82	0,67
HVIP на 24й месяц (градусы)	7,42±5,05	8,69±4,56	0,32
HVA на 24й месяц (градусы)	6,52±2,6	6,26±2,66	0,62
IMA на 24й месяц (градусы)	7,97±1,35	8,03±1,37	0,96
DMAA на 24й месяц (градусы)	6,87±1,84	5,95±2,22	0,2
Длительность операции (минуты)	33,61 ± 6,37	31,58 ± 6,88	0,35

Таблица 4.4. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 1,2 группы в подгруппах дополнительных остеотомий (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

Параметр	Группа №1 (n= 29)		Группа №2 (n= 29)		
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц					p-уровень
отлично	3	16,67%	5	26,32%	0,51
удовлетворительно	9	50%	6	31,58%	
хорошо	6	33,33%	8	42,11%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц					p-уровень
отлично	4	22,22%	5	26,32%	0,85
удовлетворительно	2	11,11%	3	15,79%	
хорошо	12	66,67%	11	57,89%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц					p-уровень
отлично	5	27,78%	8	42,11%	0,29
удовлетворительно	1	5,56%	3	15,79%	
хорошо	12	66,67%	8	42,11%	
Осложнения к 24му месяцу					p-уровень
Метатарзалгии	2	11,11%	3	15,79%	0,52
Тугоподвижность	1	5,56%	3	15,79%	
Рецидив деформации	0	0%	0	0%	

4.3. Результаты в первой и второй группе в подгруппах без дополнительных остеотомий

Среднее время операции в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 30,45 ± 6,88 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 79,64 ± 5,46 баллов. При этом у 2 пациентов (18,18 %) результат оценен как удовлетворительный, у 8 (72,73 %) - хороший, у 1 (9,09 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов первой группы в подгруппе без дополнительных остеотомий составил 77,45 ± 12,93 баллов, по шкале MOXFQ - 56,59 ± 14,72 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составил 86,36 ± 8,79 баллов. При этом у 2 пациентов (18,18 %) результат оценен как удовлетворительный, у 5 (45,45 %) - хороший, у 4 (36,36 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 92,23 ± 5,02 баллов, по шкале MOXFQ - 34,66 ± 11,25 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 9,61 ± 5,84 градусов, HVA - 6,64 ± 1,9 градусов, IMA - 7,51 ± 2,87 градусов, DMAA - 7,3 ± 1,66 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 84,55 ± 7,61 баллов. При этом у 7 пациентов (63,64 %) результат оценен как хороший, у 4 (36,36 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов первой группы составил 88,23 ± 4,47 баллов, по шкале MOXFQ - 30,36 ± 9,17 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 10,29 ± 5,81 градусов, HVA - 7,25 ± 1,95 градусов, IMA - 7,49 ± 2,53 градусов, DMAA - 6,96 ± 1,54 градусов.

На этом сроке в первой группе в подгруппе без дополнительных остеотомий было зарегистрировано 2 (18,18 %) случая метатарзалгий, 2 (18,18 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации не было зарегистрировано.

Среднее время операции во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 30,5 ± 5,99 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 85,7 ± 7,99 баллов. При этом у 1 пациентов (10 %) результат оценен как удовлетворительный, у 5 (50 %) - хороший, у 4 (40 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов второй группы в подгруппе без дополнительных остеотомий составил 81,3 ± 9,39 баллов, по шкале MOXFQ - 45 ± 14,74 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составил 86,5 ± 8,29 баллов. При этом у 1 пациентов (10 %) результат оценен как удовлетворительный, у 6 (60 %) - хороший, у 3 (30 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 88,1 ± 11,11 баллов, по шкале MOXFQ - 33 ± 13,07 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 9,34 ± 5,23 градусов, HVA - 5,17 ± 2,29 градусов, IMA - 6,66 ± 2,43 градусов, DMAA - 6,71 ± 1,77 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 89,1 ± 10,68 баллов. При этом у 4 пациентов (40 %) результат оценен как хороший, у 6 (60 %) – отличный. На этом же сроке средний результат

по шкале VASFA у пациентов второй группы составил 90,4 ± 9,87 баллов, по шкале MOXFQ - 28,8 ± 12,19 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий составило 10,65 ± 4,13 градусов, HVA - 5,85 ± 1,9 градусов, IMA - 8,19 ± 2,26 градусов, DMAA - 6,9 ± 2,42 градусов.

На этом сроке во второй группе в подгруппе без дополнительных остеотомий было зарегистрировано 1 (10 %) случая метатарзалгий, 0 (0 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации не было зарегистрировано.

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между группами в подгруппе без дополнительных остеотомий. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении первой и второй групп в подгруппе без дополнительных остеотомий. Также не отмечено достоверных различий во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 4.5, Таблица 4.6).

Таблица 4.5. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции 1,2 группы в подгруппах без дополнительных остеотомий. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Параметр	Группа №1 (n= 29)	Группа №2 (n= 29)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц (баллы)	79,64±5,46	85,7±7,99	0,06
VASFA на 6й месяц (баллы)	77,45±12,93	81,3±9,39	0,23
MOXFQ на 6й месяц (баллы)	56,59±14,72	45±14,74	0,09
AOFAS на 12й месяц (баллы)	86,36±8,79	86,5±8,29	0,94
VASFA на 12й месяц (баллы)	92,23±5,02	88,1±11,11	0,86
MOXFQ на 12й месяц (баллы)	34,66±11,25	33±13,07	0,65
HVIP на 12й месяц (градусы)	9,61±5,84	9,34±5,23	0,81
HVA на 12й месяц (градусы)	6,64±1,9	5,17±2,29	0,15

Продолжение таблицы 4.5

IMA на 12й месяц (градусы)	7,51±2,87	6,66±2,43	0,43
DMAA на 12й месяц (градусы)	7,3±1,66	6,71±1,77	0,4
AOFAS на 24й месяц (баллы)	84,55±7,61	89,1±10,68	0,34
VASFA на 24й месяц (баллы)	88,23±4,47	90,4±9,87	0,26
MOXFQ на 24й месяц (баллы)	30,36±9,17	28,8±12,19	0,6
HVIP на 24й месяц (градусы)	10,29±5,81	10,65±4,13	0,86
HVA на 24й месяц (градусы)	7,25±1,95	5,85±1,9	0,1
IMA на 24й месяц (градусы)	7,49±2,53	8,19±2,26	0,81
DMAA на 24й месяц (градусы)	6,96±1,54	6,9±2,42	0,86
Длительность операции (минуты)	30,45±6,88	30,5±5,99	0,97

Таблица 4.6. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 1,2 группы в подгруппах без дополнительных остеотомий (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

Параметр	Группа №1 (n= 29)		Группа №2 (n= 29)		
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц					p-уровень
отлично	1	9,09%	4	40%	0,25
удовлетворительно	2	18,18%	1	10%	
хорошо	8	72,73%	5	50%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц					p-уровень
отлично	4	36,36%	3	30%	0,77
удовлетворительно	2	18,18%	1	10%	
хорошо	5	45,45%	6	60%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц					p-уровень
отлично	4	36,36%	6	60%	0,28
удовлетворительно	0	0%	0	0%	
хорошо	7	63,64%	4	40%	
Осложнения к 24му месяцу					p-уровень
Метатарзалгии	2	18,18%	1	10%	0,28
Тугоподвижность	2	18,18%	0	0%	
Рецидив деформации	0	0%	0	0%	

4.4. Сравнение результатов между подгруппами дополнительных остеотомий и без дополнительных остеотомий внутри каждой из групп

В этом разделе буду представлены сравнительные результаты внутри каждой их групп между подгруппами дополнительных остеотомий и без дополнительных остеотомий.

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между подгруппами внутри групп по признаку наличия или отсутствия дополнительных остеотомий. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении подгрупп по признаку наличия остеотомий. Также не отмечено достоверных различий во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Отсутствие внутригрупповой разницы между подгруппами по признаку наличия или отсутствию дополнительных остеотомий указывает отсутствие влияния дополнительных остеотомий на общий результат (Таблица 4.7).

Таблица 4.7. Результаты внутригрупповой разницы между подгруппами по признаку наличия или отсутствия дополнительных остеотомий по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологическим показателям HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, регистрации осложнений.

Показатель	Первая группа (p-уровень)	Вторая группа (p-уровень)
AOFAS на 6й месяц	0,3	0,35
VASFA на 6й месяц	0,16	0,58
MOXFQ на 6й месяц	0,08	0,54
AOFAS на 12й месяц	0,54	0,98
VASFA на 12й месяц	0,18	0,98
MOXFQ на 12й месяц	0,51	0,6

Продолжение таблицы 4.7.

Показатель	Первая группа (p-уровень)	Вторая группа (p-уровень)
HVIP на 12й месяц	0,24	0,7
HVA на 12й месяц	0,61	0,71
IMA на 12й месяц	0,74	0,19
DMAA на 12й месяц	0,26	0,27
AOFAS на 24й месяц	0,79	0,76
VASFA на 24й месяц	0,18	0,98
MOXFQ на 24й месяц	0,77	0,61
HVIP на 24й месяц	0,17	0,3
HVA на 24й месяц	0,44	0,91
IMA на 24й месяц	0,82	0,91
DMAA на 24й месяц	0,88	0,24
Оценка шкал AOFAS на 6й месяц	0,12	0,42
Оценка шкал AOFAS на 12й месяц	0,53	0,91
Оценка шкал AOFAS на 24й месяц	0,68	0,36
Осложнения к 24му месяцу	0,44	0,34
Рецидив деформации к 24му месяцу	1	1

Для демонстрации представлен клинический пример №2. Результаты были включены во вторую группу (Рисунок 4.1).

Пациентка П. Возраст 33 года. ИМТ пациентки 22,63 кг/м^2, что было интерпретировано как нормальная масса тела. Степень деформации была интерпретирована как средняя. HVIPA до операции был 5,68 градусов, HVA - 31,2 градусов, IMA - 16,3 градусов, DMAA 9,24 градусов.

AOFAS до операции составил 55 баллов, VASFA – 21 балл, MOXFQ - 56,25 баллов.

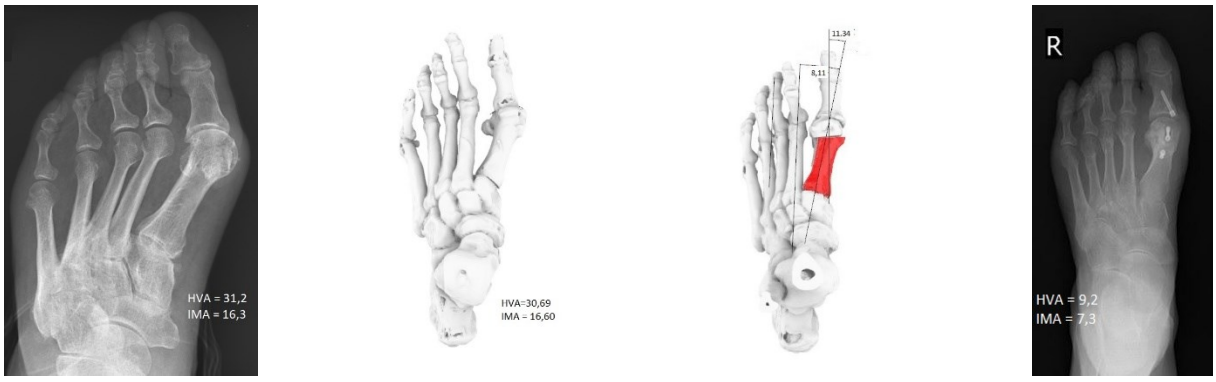
Запланированная в виртуальной среде коррекция составила HVA - 8,3 градусов, IMA - 4,5 градусов. Выполнена операция по предложенной описанной выше метода с применением индивидуального шаблона-направителя. С учётом

того, что угол HVIPA превышал 9 градусов, была выполнена дополнительная остеотомия Akin с фиксацией винтом.

Время операции с применением индивидуального шаблона-направителя составило 40 минут. Осложнений не было зарегистрировано. Реабилитационный период проходил в соответствии с протоколом исследования.

HVIPA на 12й месяц был 7,82 градусов, HVA - 9,24 градусов, IMA - 7,52 градусов, DMAA 4,8 градусов. HVIPA на 24й месяц был 8,32 градусов, HVA - 9,23 градусов, IMA - 7,3 градусов, DMAA 4,2 градусов.

AOFAS на 6й месяц составил 85 баллов, VASFA – 65 баллов, MOXFQ - 22,5 баллов. AOFAS на 12й месяц составил 85 баллов, VASFA – 71 балл, MOXFQ - 15,2 баллов. AOFAS на 24й месяц составил 92 баллов, VASFA – 77,5 балл, MOXFQ - 12,45 баллов.



А Б В Г

Рисунок 4.1. Клинический пример №2: А – Рентген стопы, дорсоплантарная проекция перед операцией; Б, В – виртуальное планирование коррекции деформации; Г – Рентген стопы, дорсоплантарная проекция 24й месяц после операции.

4.5. Обсуждение полученных результатов

В настоящей главе были представлены результаты второго этапа клинической части исследования [2]. Была проведена оценка анатомических и функциональных среднесрочных и отдаленных результатов использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести опытным хирургом. Для решения поставленной задачи были исследованы результаты лечения пациентов 1 и 2 клинической групп. В первой клинической группе пациентам выполнен комплекс предоперационного планирования с применением аддитивных технологий с созданием индивидуального шаблона-направителя, который применялся на операции. Пациентам второй клинической группы выполнен комплекс предоперационного планирования без применения аддитивных технологий, все расчёты проводились классическим методом с расчетами на двухмерных рентгенограммах, корригирующая остеотомия проводилась на основании опыта хирурга. Все операции в этой группе были выполнены опытным хирургом.

Констатировано отсутствие достоверных различий в анатомических и функциональных результатах в хирургическом лечении остеотомией scarf приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести опытным хирургом с использованием метода трехмерного планирования индивидуального шаблона-направителя и без использования предложенного метода. Полученные результаты показали, что метод трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести не влияет на результаты лечения, если операцию выполняет хирург, обладающий достаточным опытом. Таким образом, результатом этой части клинического исследования явилось решение четвёртой его задачи. Кроме того, сравнением подгрупп признаку наличия или отсутствия дополнительных

остеотомий показало, что выполненные дополнительные остеотомии не приводят к изменению среднесрочных и отдаленных результатов лечения приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести.

Предыдущие этапы исследования показали принципиальную возможность применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести. С другой стороны, выяснено, что предложенный метод не влияет на результаты выполнения операции опытным хирургом. Однако, можно было предположить, что этот метод может положительно влиять на качество выполнения аналогичных операций хирургом, осваивающим методику, так как позволяет достаточно точно спланировать операцию и выполнить основные опилы при её выполнении, тем самым минимизируя недостаток навыков предоперационного планирования и мануальных навыков выполнения операции. Тем не менее, для большей объективности доказательства этой гипотезы мы сочли необходимым первоначально определить базовый уровень хирургического мастерства хирурга, осваивающего методику. Эта задача была решена путём определения результатов лечения исследуемой патологии традиционными методами предоперационного планирования и выполнения операции хирургом, осваивающим методику и сравнения этих результатов с результатами аналогичных операций, выполненных опытным хирургом, что изложено в следующей главе диссертационного исследования.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА БАЗОВОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ОСТЕОТОМИИ SCARF ХИРУРГОМ, ОСВАИВАЮЩИМ МЕТОДИКУ

В этой главе оценены анатомические и функциональные среднесрочные и отдаленные результаты хирургического лечения приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести хирургом, осваивающим методику операции остеотомии scarf без использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя. Кроме того, по аналогии с предыдущими клиническими группами, выполнено сравнение результатов лечения в подгруппах дополнительных остеотомий и без них. Полученные в этой части работы данные позволили определить базовый уровень хирургического мастерства хирурга, осваивающего методику, и сравнить его результаты с результатами аналогично выполненных операций опытным хирургом.

5.1. Результаты исследования в третьей группе

Среднее время операции в третьей группе составило 33,82 ± 13,32 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в третьей группе составило 70,26 ± 7,13 баллов. При этом у 6 пациентов (17,65 %) результат оценен как удовлетворительный, у 28 (82,35 %) – хороший. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов третьей группы составил 70,25 ± 13,81 баллов, по шкале MOXFQ - 53,82 ± 13,6 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в третьей группе составил 77,21 ± 10,58 баллов. При этом у 13 пациентов (38,24 %) результат оценен как удовлетворительный, у 17 (50 %) - хороший, у 4 (11,76 %) –

отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в третьей группе по шкале VASFA составил 81,46 ± 9,55 баллов, по шкале MOXFQ - 39,26 ± 12,8 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в третьей группе составило 8,25 ± 4,1 градусов, HVA - 8,99 ± 2,58 градусов, IMA - 9,1 ± 1,9 градусов, DMAA - 6,99 ± 1,84 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в третьей группе составило 76,94 ± 8,72 баллов. При этом у 14 пациентов (41,18 %) результат оценен как удовлетворительный, у 18 (52,94 %) - хороший, у 2 (5,88 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов третьей группы составил 77,56 ± 9,32 баллов, по шкале MOXFQ - 35,21 ± 13,07 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в третьей группе составило 8,81 ± 4,14 градусов, HVA - 9,45 ± 2,29 градусов, IMA - 9,96 ± 2,44 градусов, DMAA - 6,28 ± 2,76 градусов.

На этом сроке в третьей группе было зарегистрировано 7 (20,59 %) случая метатарзалгий, 2 (5,88 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 7 (20,59 %).

Среднее время операции в третьей группе в подгруппе дополнительных остетомий составило 34 ± 16,51 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий составило 70,9 ± 8,13 баллов. При этом у 4 пациентов (20 %) результат оценен как удовлетворительный, у 16 (80 %) – хороший. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов третьей группы в выборке дополнительных остеотомий составил 70,85 ± 14,37 баллов, по шкале MOXFQ - 51,56 ± 13,63 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий составил 79,3 ± 10,7 баллов. При этом у 6 пациентов (30 %) результат оценен как удовлетворительный, у 11 (55 %) - хороший, у 3 (15 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний

результат анкетирования в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 80,17 ± 11,33 баллов, по шкале MOXFQ - 40,56 ± 13,53 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий составило 8,5 ± 3,97 градусов, HVA - 9,21 ± 3,02 градусов, IMA - 9,01 ± 1,91 градусов, DMAA - 6,6 ± 1,86 градусов. Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий составило 77,45 ± 8,58 баллов. При этом у 9 пациентов (45 %) результат оценен как удовлетворительный, у 9 (45 %) - хороший, у 2 (10 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов третьей группы составил 75,78 ± 10,97 баллов, по шкале MOXFQ - 36,66 ± 13,89 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий составило 9,09 ± 3,99 градусов, HVA - 9,16 ± 2,35 градусов, IMA - 9,42 ± 2,39 градусов, DMAA - 6,69 ± 2,94 градусов.

На этом сроке в третьей группе в выборке дополнительных остеотомий было зарегистрировано 4 (20 %) случая метатарзалгий, 1 (5 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 4 (20 %).

Среднее время операции в третьей группе в подгруппе без дополнительных составило 33,57 ± 7,19 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 69,36 ± 5,56 баллов. При этом у 2 пациентов (14,29 %) результат оценен как удовлетворительный, у 12 (85,71 %) – хороший. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов третьей группы в выборке без дополнительных остеотомий составил 69,39 ± 13,45 баллов, по шкале MOXFQ - 57,05 ± 13,37 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий составил 74,21 ± 10,02 баллов. При этом у 7 пациентов (50 %) результат оценен как удовлетворительный,

у 6 (42,86 %) - хороший, у 1 (7,14 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 83,29 ± 6,15 баллов, по шкале MOXFQ - 37,41 ± 11,92 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 7,88 ± 4,41 градусов, HVA - 8,67 ± 1,84 градусов, IMA - 9,22 ± 1,95 градусов, DMAA - 7,54 ± 1,73 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 76,21 ± 9,18 баллов. При этом у 9 пациентов (64,29 %) результат оценен как удовлетворительный, у 5 (35,71 %) – хороший. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов третьей группы составил 80,11 ± 5,73 баллов, по шкале MOXFQ - 33,12 ± 11,98 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 8,41 ± 4,46 градусов, HVA - 9,86 ± 2,23 градусов, IMA - 10,72 ± 2,38 градусов, DMAA - 5,7 ± 2,46 градусов.

На этом сроке в третьей группе в выборке без дополнительных остеотомий было зарегистрировано 3 (21,43 %) случая метатарзалгий, 1 (7,14 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 3 (21,43 %).

5.2. Результаты сравнения третьей и первой групп клинического исследования

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал наличие достоверных различий по ряду показателей. Так, на 6й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 1 группой выявлены достоверные различия в пользу 1 группы (p-уровень = 0,01). Также найдена статистически значимая разница при

категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 1 группами (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы.

На 12й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 1 группами зафиксирована достоверная разница (p-уровень =0,03) в пользу 1 группы и по показателю VASFA (p-уровень =0,01) в пользу 1 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 1 группами (p-уровень = 0,03) в пользу 1 группы.

На 24й месяц после операции по показателю AOFAS получена достоверная разница между 3 и 1 группами (p-уровень =0,02) в пользу 1 группы и по показателю VASFA (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы. Также на этом сроке наблюдения найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 1 группами (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы.

Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA показали достоверные различия при сравнении показателей HVA между 3 и 1 группами (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы на сроке 12 месяцев. На сроке 24 месяца после операции тенденция значимых различий сохранилась при сравнении показателей HVA, IMA между 3 и 1 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно).

Не было отмечено достоверных различия во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 5.1, Таблица 5.2).

Таблица 5.1. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции 3 и 1 групп. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Показатель	Группа №3 (n=34)	Группа №1 (n=29)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц (баллы)	70,26±7,13	78,59±9,03	0,01
VASFA на 6й месяц (баллы)	70,25±13,81	72,64±14,13	1
MOXFQ на 6й месяц (баллы)	53,82±13,6	50,22±15,6	1
AOFAS на 12й месяц (баллы)	77,21±10,58	85,28±8,22	0,03
VASFA на 12й месяц (баллы)	81,46±9,55	89,95±7,01	0,01

Продолжение таблицы 5.1.

Показатель	Группа №3 (n=34)	Группа №1 (n=29)	p-уровень
MOXFQ на 12й месяц (баллы)	39,26±12,8	37,07±11,73	1
HVIP на 12й месяц (градусы)	8,25±4,1	7,92±5,5	1
HVA на 12й месяц (градусы)	8,99±2,58	6,25±2,29	0
IMA на 12й месяц (градусы)	9,1±1,9	7,35±2,11	0
DMAA на 12й месяц (градусы)	6,99±1,84	6,72±1,87	1
AOFAS на 24й месяц (баллы)	76,94±8,72	84,48±8,1	0,02
VASFA на 24й месяц (баллы)	77,56±9,32	86,02±7,02	0
MOXFQ на 24й месяц (баллы)	35,21±13,07	31,14±9,11	1
HVIP на 24й месяц (градусы)	8,81±4,14	8,51±5,44	1
HVA на 24й месяц (градусы)	9,45±2,29	6,8±2,36	0
IMA на 24й месяц (градусы)	9,96±2,44	7,78±1,86	0
DMAA на 24й месяц (градусы)	6,28±2,76	6,91±1,7	0,9
Длительность операции (минуты)	33,82±13,32	32,41±6,63	1

Таблица 5.2. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 3 и 1 группы (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

Показатель	Группа №3 (n=34)		Группа №1 (n=29)		p-уровень
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц					p-уровень
отлично	0	0%	4	13,79%	<0,01
удовлетворительно	28	82,35%	11	37,93%	
хорошо	6	17,65%	14	48,28%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц					p-уровень
отлично	4	11,76%	8	27,59%	0,03
удовлетворительно	13	38,24%	4	13,79%	
хорошо	17	50%	17	58,62%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц					p-уровень
отлично	2	5,88%	9	31,03%	<0,01
удовлетворительно	14	41,18%	1	3,45%	
хорошо	18	52,94%	19	65,52%	

Продолжение таблицы 5.2

Осложнения к 24му месяцу					p-уровень
Метатарзалгии	7	20,59%	4	13,79%	0,16
Тугоподвижность	2	5,88%	3	10,34%	
Рецидив деформации	7	20,59%	0	0%	

Ниже приведен клинический пример №3 пациента из 3й группы для демонстрации осложнения, полученного в результате выполнения операции хирургом, осваивающим технику остеотомии до применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя (Рисунок 5.1).

Клинический случай №3. Пациентка В., 41 года. ИМТ пациентки 28,31 кг/м^2, что было интерпретировано как стадия преожирения. Степень деформации была интерпретирована как средняя. HVIPA до операции был 10,17 градусов, HVA - 34,12 градусов, IMA - 16,03 градусов, DMAA 11,52 градусов.

AOFAS до операции составил 42 баллов, VASFA – 24 балла, MOXFQ - 66 баллов. Оценка удовлетворенности функцией стопы по AOFAS была «плохо».

HVIPA на 12й месяц был 6,44 градусов, HVA - 16,2 градусов, IMA - 13,5 градусов, DMAA градусов 7,8 градусов. HVIPA на 24й месяц был 6,74 градусов, HVA - 16,5 градусов, IMA - 13,7 градусов, DMAA градусов 7,9 градусов.

AOFAS на 6й месяц составил 72 баллов, VASFA – 65 баллов, MOXFQ - 57 баллов. AOFAS на 12й месяц составил 70 баллов, VASFA – 72 баллов, MOXFQ - 45 баллов. AOFAS на 24й месяц составил 70 баллов, VASFA – 72 баллов, MOXFQ - 45 баллов.

Время операции составило 45 минут. Были проведены операции дополнительных остеотомий Akin, угол HVIPA более 9 градусов и II,III,IV,V плюсневых костей, так как при расчете длинн плюснеых костей [80] было показано укорочение (более подробно о методе в разделе «2.2.3 Визуальное процедурное планирование»). Из осложнений был зарегистрирован безсимптомный возврат деформации, медиатизация плюсневой головки, к 12му месяцу исследования, также он сохранялся на 24й месяц наблюдения. После операционный составил

HVA - 7,1 градусов, IMA - 10,2 градусов, рецидив деформации составил HVA - 16,2 градусов, IMA - 13,5 градусов. Степень деформации можно оценить, как среднюю. Пациентка жаловалась на возврат деформации.

А Б

Рисунок 5.1. Клинический пример №3: Рентгенологическое изображение дорсоплнтарная проекция А – до операции, Б- 12 месяцев после операции.

Таким образом, оценка анатомических и функциональных среднесрочных и отдаленных результатов хирургического лечения приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести хирургом, осваивающим методику операции остеотомии scarf без использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в сравнении с аналогичными результатами, показанными опытным хирургом, показала достоверные различия по ряду существенных показателей в пользу опытного хирурга. Так, показатели угловой деформации IMA и HVA, а также данные анкетирования по шкалам AOFAS и VASFA на 6й, 12й и 24й месяц наблюдения указывают на достоверно худшие результаты у хирурга, который только начал осваивать методику остеотомии scarf. Результаты исследования показали, что опыт при выполнении корригирующей остеотомии по традиционной

методике является крайне важным и существенно влияет на конечный результат лечения, и позволили решить пятую задачу диссертационного исследования.

Насколько применение метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести может иметь потенциал улучшения результатов операции, выполненной хирургом, осваивающем метод, было определено на четвёртом этапе клинического исследования, результаты которого будут представлены в следующей главе.

ГЛАВА 6. ТРЕХМЕРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ С СОЗДАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ШАБЛОНА-НАПРАВИТЕЛЯ В РАБОТЕ ХИРУРГА, ОСВАИВАЮЩЕГО МЕТОДИКУ КОРРИГИРУЮЩЕЙ ОСТЕОТОМИИ SCARF

В этой главе будут представлены результаты четвёртого, заключительного этапа клинической части исследования.

Как показал первый этап клинического исследования, опытный хирург не нуждается в применении метода трёхмерного планирования с использованием индивидуальных шаблонов-направителей, так как достоверные различия в результатах с применением исследуемого метода и без неё получены не были. Вместе с тем, в предыдущей главе нами было показано, что базовые навыки хирурга, осваивающего методику операции корригирующей остеотомии scarf традиционным способом, хуже, чем навыки опытного хирурга. Об этом свидетельствуют достоверные различия в функциональных и анатомических результатах в пользу опытного хирурга. Мы предположили, что улучшение качества предоперационного планирования и точности выполнения опилов первой плюсневой кости, которое в руках хирурга, осваивающего методику, может быть достигнуто применением метода трёхмерного планирования с применением индивидуальных шаблонов-направителей, может улучшить результаты выполненного им оперативного лечения.

Для доказательства этой гипотезы нами изучены результаты четвёртой клинической группы, в которую вошли 34 профильных пациента. Им операция выполнена с применением изучаемой технологии хирургом, осваивающим методику. В последующем тот же хирург выполнил довольно большую серию из включенных в пятую клиническую группу 187 операций традиционным способом без применения метода трёхмерного планирования с использованием индивидуальных шаблонов-направителей.

Анатомические и функциональные среднесрочные и отдаленные результаты лечения пациентов четвёртой и пятой клинических групп сравнивали между собой, а также с результатами лечения больных третьей группы, которые были изложены в предыдущей главе диссертационного исследования.

Кроме того, для большей объективизации полученных результатов было выполнено сравнение результатов лечения пациентов первой и пятой клинических групп, где операции выполнялись традиционным образом. Различия состояли только в том, что оперативное лечение пациентам первой группы выполнено опытным хирургом, а пациентам пятой группы – хирургом, осваивающим методику после выполнения серии операций с применением метода трёхмерного планирования с использованием индивидуальных шаблонов-направителей.

Также, по аналогии с предыдущими главами клинической части исследования, нами проведена оценка влияния сопутствующих остеотомии Akin и малоинвазивных остеотомий II, III, IV, V плюсневых костей на анатомические и функциональные результаты выполнения операции остеотомии scarf при коррекции приобретенной вальгусной деформации первой пальца стопы легкой и средней тяжести.

6.1. Результаты сравнения между третьей, четвертой, пятой группами

Результаты третьей группы представлены в главе № 4.

Среднее время операции в четвертой группе составило 28,24 ± 6,14 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в четвертой группе составило 77,5 ± 9,66 баллов. При этом у 12 пациентов (35,29 %) результат оценен как удовлетворительный, у 19 (55,88 %) - хороший, у 3 (8,82 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов четвертой группы составил 77,29 ± 13,27 баллов, по шкале MOXFQ - 50,26 ± 16,27 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в четвертой группе составил 85,41 ± 9,51 баллов. При этом у 6 пациентов (17,65 %) результат оценен как удовлетворительный, у 16 (47,06 %) - хороший, у 12 (35,29 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в четвертой группе по шкале VASFA составил 89,35 ± 8,15 баллов, по шкале MOXFQ - 35,29 ± 11,21 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в четвертой группе составило 9,12 ± 5,35 градусов, HVA - 6,35 ± 3,02 градусов, IMA - 6,48 ± 1,24 градусов, DMAA - 6,31 ± 2,66 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в четвертой группе составило 85,62 ± 8,09 баллов. При этом у 3 пациентов (8,82 %) результат оценен как удовлетворительный, у 15 (44,12 %) - хороший, у 16 (47,06 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов четвертой группы составил 87,06 ± 6,65 баллов, по шкале MOXFQ - 31,06 ± 11,16 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в четвертой группе составило 9,68 ± 5,31 градусов, HVA - 6,79 ± 3,03 градусов, IMA - 6,81 ± 1,12 градусов, DMAA - 6,32 ± 3,13 градусов. На этом сроке в четвертой группе было зарегистрировано 1 (2,94 %) случая метатарзалгий, 4 (11,76 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 4 (11,76 %).

Среднее время операции в пятой группе составило 29,85 ± 9,16 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в пятой группе составило 77,35 ± 12,24 баллов. При этом у 66 пациентов (35,29 %) результат оценен как удовлетворительный, у 89 (47,59 %) - хороший, у 32 (17,11 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов пятой группы составил 76,3 ± 14,53 баллов, по шкале MOXFQ - 49,87 ± 15,81 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в пятой группе составил 83,11 ± 8,84 баллов. При этом у 40 пациентов (21,39 %) результат

оценен как удовлетворительный, у 112 (59,89 %) - хороший, у 35 (18,72 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в пятой группе по шкале VASFA составил 86,71 ± 7,91 баллов, по шкале MOXFQ - 37,1 ± 9,97 баллов. На этом же сроке среднее значение HVIP в пятой группе составило 7,1 ± 4,29 градусов, HVA - 5,83 ± 4,46 градусов, IMA - 6,98 ± 1,6 градусов, DMAA - 5,53 ± 2,72 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в пятой группе составило 84,16 ± 9,59 баллов. При этом у 30 пациентов (16,04 %) результат оценен как удовлетворительный, у 103 (55,08 %) - хороший, у 54 (28,88 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов пятой группы составил 83,66 ± 11 баллов, по шкале MOXFQ - 33,48 ± 12,13 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в пятой группе составило 7,69 ± 4,27 градусов, HVA - 6,42 ± 4,45 градусов, IMA - 7,59 ± 1,67 градусов, DMAA - 5,22 ± 2,68 градусов.

На этом сроке в пятой группе было зарегистрировано 15 (8,02 %) случая метатарзалгий, 17 (9,09 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 26 (13,9 %).

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал наличие достоверных различий по некоторым показателям. На 6й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы, VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,07) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,06) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы.

На 12й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 и 5 группы., VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,02) в пользу

4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,04) в пользу 4 группы.

На 24й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы, VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы.

Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA показали достоверные различия при сравнении показателей HVA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. На этом же сроке также при сравнении показателей IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. На сроке 24 месяца после операции тенденция значимых различий сохранилась при сравнении показателей HVA, IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно).

Не было отмечено достоверных различия во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 6.1, Таблица 6.2, Таблица 6.3, Рисунок 6.1, Рисунок 6.2).

Таблица 6.1. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции 3,4,5 групп. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Показатель	3 группа (n = 34)	4 группа (n = 34)	5 группа (n = 187)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц	70,26±7,13	77,5±9,66	77,35±12,24	<0,01
VASFA на 6й месяц	70,25±13,81	77,29±13,27	76,3±14,53	0,05
MOXFQ на 6й месяц	53,82±13,6	50,26±16,27	49,87±15,81	0,38
AOFAS на 12й месяц	77,21±10,58	85,41±9,51	83,11±8,84	<0,01
VASFA на 12й месяц	81,46±9,55	89,35±8,15	86,71±7,91	<0,01

Продолжение таблицы 6.1.

MOXFQ на 12й месяц	39,26±12,8	35,29±11,21	37,1±9,97	0,38
HVIP на 12й месяц	8,25±4,1	9,12±5,35	7,1±4,29	0,05
HVA на 12й месяц	8,99±2,58	6,35±3,02	5,83±4,46	<0,01
IMA на 12й месяц	9,1±1,9	6,48±1,24	6,98±1,6	<0,01
DMAA на 12й месяц	6,99±1,84	6,31±2,66	5,53±2,72	<0,01
AOFAS на 24й месяц	76,94±8,72	85,62±8,09	84,16±9,59	<0,01
VASFA на 24й месяц	77,56±9,32	87,06±6,65	83,66±11	<0,01
MOXFQ на 24й месяц	35,21±13,07	31,06±11,16	33,48±12,13	0,4
HVIP на 24й месяц	8,81±4,14	9,68±5,31	7,69±4,27	0,05
HVA на 24й месяц	9,45±2,29	6,79±3,03	6,42±4,45	<0,01
IMA на 24й месяц	9,96±2,44	6,81±1,12	7,59±1,67	<0,01
DMAA на 24й месяц	6,28±2,76	6,32±3,13	5,22±2,68	0,01
Длительность операции	33,82±13,32	28,24±6,14	29,85±9,16	0,11

Таблица 6.2. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 3,4,5 групп (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

Показатель	3 группа (n = 34)		4 группа (n = 34)		5 группа (n = 187)		
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц							p-уровень
отлично	0	0%	3	8,82%	32	17,11%	<0,01
удовлетворительно	28	82,35%	12	35,29%	66	35,29%	
хорошо	6	17,65%	19	55,88%	89	47,59%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц							p-уровень
отлично	4	11,76%	12	35,29%	35	18,72%	0,03
удовлетворительно	13	38,24%	6	17,65%	40	21,39%	
хорошо	17	50%	16	47,06%	112	59,89%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц							p-уровень
отлично	2	5,88%	16	47,06%	54	28,88%	<0,01
удовлетворительно	14	41,18%	3	8,82%	30	16,04%	
хорошо	18	52,94%	15	44,12%	103	55,08%	

Продолжение таблицы 6.2.

Осложнения к 24му месяцу							р-уровень
Метатарзалгии	7	20,59%	1	2,94%	15	8,02%	0,53
Тугоподвижность	2	5,88%	4	11,76%	17	9,09%	
Рецидив деформации	7	20,59%	4	11,76%	26	13,9%	

Таблица 6.3. Попарное сравнение результатов шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции, оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений среди 3,4,5 групп.

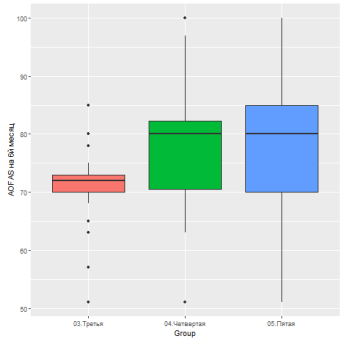
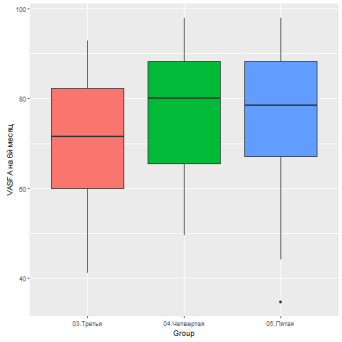
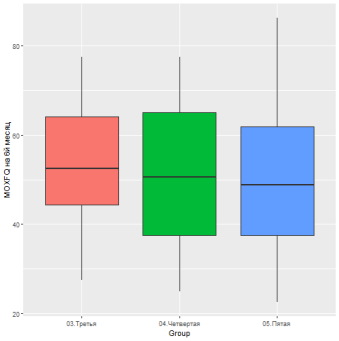
Показатель	3 и 4 группы (р-уровень)	3 и 5 группы (р-уровень)	4 и 5 группы (р-уровень)
AOFAS на 6й месяц	<0,01	<0,01	0,74
VASFA на 6й месяц	0,07	0,06	0,82
MOXFQ на 6й месяц	0,56	0,53	0,91
AOFAS на 12й месяц	0,01	0,01	0,17
VASFA на 12й месяц	<0,01	0,02	0,11
MOXFQ на 12й месяц	0,62	0,68	0,68
HVIP на 12й месяц	0,51	0,26	0,1
HVA на 12й месяц	<0,01	<0,01	0,09
IMA на 12й месяц	<0,01	<0,01	0,14
DMAA на 12й месяц	0,3	0,1	0,23
AOFAS на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,23
VASFA на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,11
MOXFQ на 24й месяц	0,63	0,63	0,63
HVIP на 24й месяц	0,54	0,26	0,11
Показатель	3 и 4 группы (р-уровень)	3 и 5 группы (р-уровень)	4 и 5 группы (р-уровень)
HVA на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,21
IMA на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,12
DMAA на 24й месяц	0,87	0,06	0,06
Длительность операции	0,14	0,18	0,33
Оценка шкал AOFAS на 6й месяц	<0,01	<0,01	0,44
Оценка шкал AOFAS на 12й месяц	0,04	0,1	0,09

Продолжение таблицы 6.3.

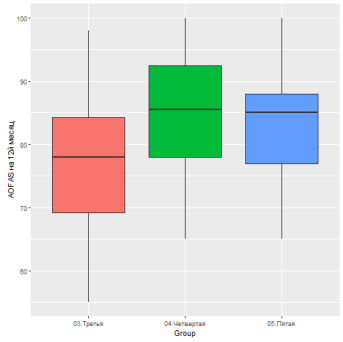
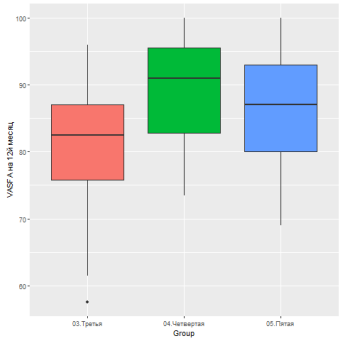
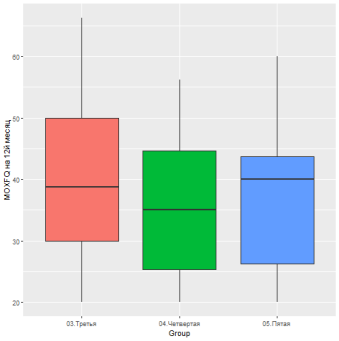
Оценка шкал AOFAS на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,1
Осложнения к 24му месяцу	0,07	0,07	0,53

Для большей наглядности результаты сравнения групп переставлены в виде графиков «коробчатая диаграмма» с регистрацией средних значений показателей в виде линии.

AOFAS на 6й месяц VASFA на 6й месяц MOXFQ на 6й месяц

AOFAS на 12й месяц VASFA на 12й месяц MOXFQ на 12й месяц

AOFAS на 24й месяц VASFA на 24й месяц MOXFQ на 24й месяц

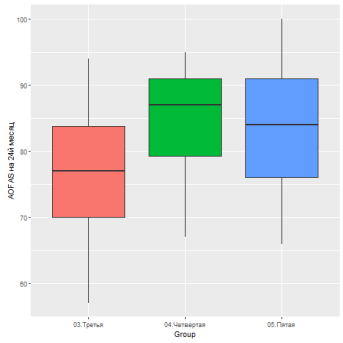
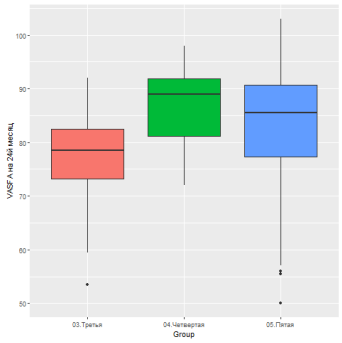
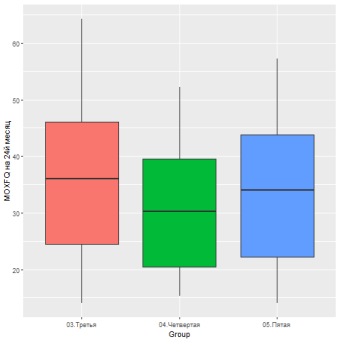
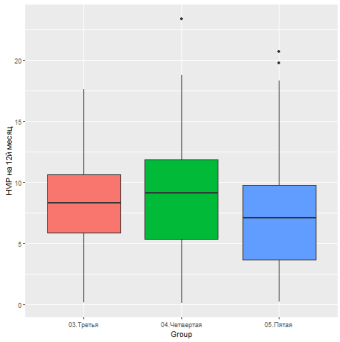
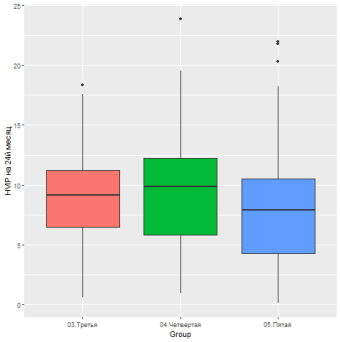




Рисунок 6.1. Результаты исследования анкетирования 3 (красный), 4 (зеленый), 5 (синий) группы.

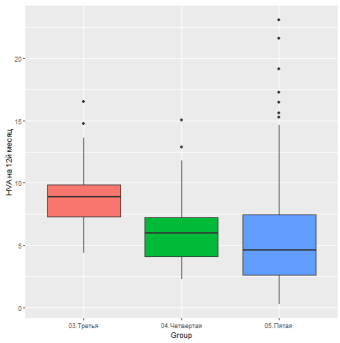
HVIP на 12й месяц



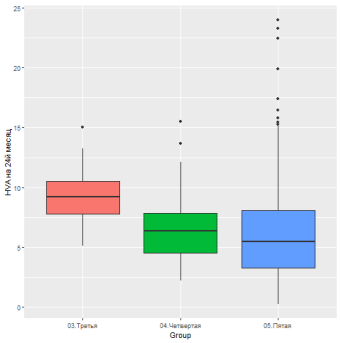
HVIP на 24й месяц



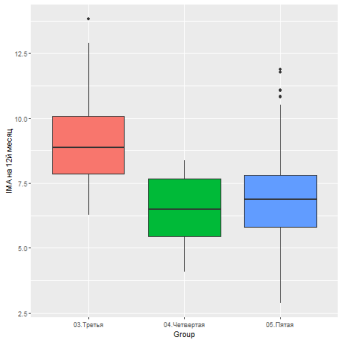
HVA на 12й месяц



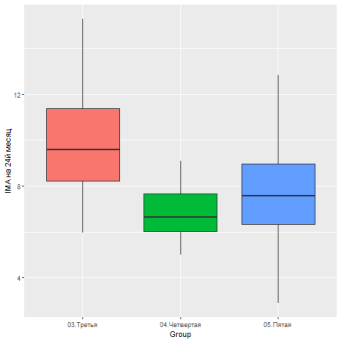
HVA на 24й месяц



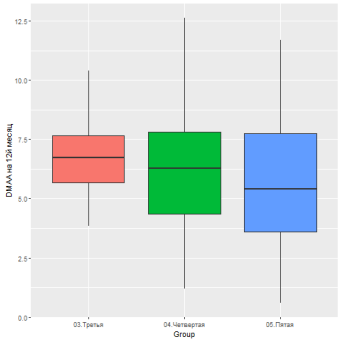
IMA на 12й месяц



IMA на 24й месяц



DMAA на 12й месяц



DMAA на 24й месяц

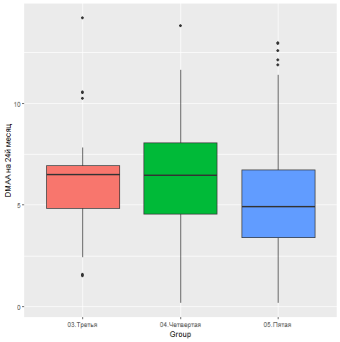


Рисунок 6.2. Результаты исследования рентгенологических показателей 3 (красный), 4 (зеленый), 5 (синий) группы.

6.2. Результаты сравнения между третьей, четвертой, пятой группой в подгруппе дополнительных остеотомий

Результаты, полученные у больных третьей группы, были представлены в главе № 4.

Среднее время операции в подгруппе дополнительных остеотомий в четвертой группе составило 28,5 ± 6,09 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 77,8 ± 9,51 баллов. При этом у 7 пациентов (35 %) результат оценен как удовлетворительный, у 10 (50 %) - хороший, у 3 (15 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов четвертой группы в выборке дополнительных остеотомий составил 77,53 ± 12,93 баллов, по шкале MOXFQ - 49,88 ± 17,17 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий составил 85 ± 10,11 баллов. При этом у 5 пациентов (25 %) результат оценен как удовлетворительный, у 7 (35 %) - хороший, у 8 (40 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 89,12 ± 8,69 баллов, по шкале MOXFQ - 34 ± 10,83 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 8,33 ± 5,96 градусов, HVA - 6,65 ± 3,08 градусов, IMA - 6,41 ± 1,31 градусов, DMAA - 6,54 ± 2,22 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 84,8 ± 7,81 баллов. При этом у 1 пациентов (5 %) результат оценен как удовлетворительный, у 11 (55 %) - хороший, у 8 (40 %) – отличный. На этом же

сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов четвертой группы составил 86,83 ± 6,96 баллов, по шкале MOXFQ - 29,5 ± 10,73 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 8,87 ± 5,88 градусов, HVA - 7,11 ± 3,08 градусов, IMA - 6,89 ± 1,17 градусов, DMAA - 6,23 ± 2,85 градусов. На этом сроке в четвертой группе в выборке дополнительных остеотомий было зарегистрировано 1 (5 %) случая метатарзалгий, 2 (10 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 3 (15 %).

Среднее время операции в подгруппе дополнительных остеотомий в пятой группе составило 29,27 ± 7,19 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 77,81 ± 11,89 баллов. При этом у 46 пациентов (33,58 %) результат оценен как удовлетворительный, у 66 (48,18 %) - хороший, у 25 (18,25 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов пятой группы в выборке дополнительных остеотомий составил 76,13 ± 14,71 баллов, по шкале MOXFQ - 50,05 ± 15,78 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий составил 83,28 ± 9,08 баллов. При этом у 29 пациентов (21,17 %) результат оценен как удовлетворительный, у 81 (59,12 %) - хороший, у 27 (19,71 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 87,14 ± 7,85 баллов, по шкале MOXFQ - 37,4 ± 10,36 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 6,97 ± 4,48 градусов, HVA - 6 ± 4,53 градусов, IMA - 7,03 ± 1,55 градусов, DMAA - 5,68 ± 2,73 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 84,74 ± 9,44 баллов. При этом у 20 пациентов (14,6 %) результат оценен

как удовлетворительный, у 76 (55,47 %) - хороший, у 41 (29,93 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов пятой группы составил 83,56 ± 11,6 баллов, по шкале MOXFQ - 33,31 ± 12,09 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий составило 7,55 ± 4,46 градусов, HVA - 6,59 ± 4,51 градусов, IMA - 7,6 ± 1,68 градусов, DMAA - 5,35 ± 2,69 градусов.

На этом сроке в пятой группе в выборке дополнительных остеотомий было зарегистрировано 10 (7,3 %) случая метатарзалгий, 10 (7,3 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 20 (14,6 %).

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал наличие достоверных различий по некоторым показателям.

На 6й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы.

На 12й месяц после операции по показателю VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,03) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,03) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,04) в пользу 4 группы.

На 24й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,02) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 и 5 группы., VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы.

Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA показали достоверные различия при сравнении

показателей HVA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. На этом же сроке также при сравнении показателей IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. На сроке 24 месяца после операции тенденция значимых различий сохранилась при сравнении показателей HVA, IMA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01, p-уровень <0,01 соответственно) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно).

Не были отмечены достоверные различия во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 6.4, Таблица 6.5, Таблица 6.6, Рисунок 6.3, Рисунок 6.4).

Таблица 6.4. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12, 24 месяц, длительности операции 3,4,5 групп в выборке дополнительных остеотомий. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Показатель	3 группа (n = 34)	4 группа (n = 34)	5 группа (n = 187)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц	70,9±8,13	77,8±9,51	77,81±11,89	0,01
VASFA на 6й месяц	70,85±14,37	77,53±12,93	76,13±14,71	0,29
MOXFQ на 6й месяц	51,56±13,63	49,88±17,17	50,05±15,78	0,93
AOFAS на 12й месяц	79,3±10,7	85±10,11	83,28±9,08	0,31
VASFA на 12й месяц	80,17±11,33	89,12±8,69	87,14±7,85	0,02
MOXFQ на 12й месяц	40,56±13,53	34±10,83	37,4±10,36	0,16
HVIP на 12й месяц	8,5±3,97	8,33±5,96	6,97±4,48	0,24
HVA на 12й месяц	9,21±3,02	6,65±3,08	6±4,53	<0,01
IMA на 12й месяц	9,01±1,91	6,41±1,31	7,03±1,55	<0,01
DMAA на 12й месяц	6,6±1,86	6,54±2,22	5,68±2,73	0,11
AOFAS на 24й месяц	77,45±8,58	84,8±7,81	84,74±9,44	0,01
VASFA на 24й месяц	75,78±10,97	86,83±6,96	83,56±11,6	<0,01
MOXFQ на 24й месяц	36,66±13,89	29,5±10,73	33,31±12,09	0,2
HVIP на 24й месяц	9,09±3,99	8,87±5,88	7,55±4,46	0,24
HVA на 24й месяц	9,16±2,35	7,11±3,08	6,59±4,51	<0,01

Продолжение таблицы 6.4.

Показатель	3 группа (n = 34)	4 группа (n = 34)	5 группа (n = 187)	p-уровень
IMA на 24й месяц	9,42±2,39	6,89±1,17	7,6±1,68	<0,01
DMAA на 24й месяц	6,69±2,94	6,23±2,85	5,35±2,69	0,06
Длительность операции	34±16,51	28,5±6,09	29,27±7,19	0,74

Таблица 6.5. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 3,4,5 групп в выборке дополнительных остеотомий (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

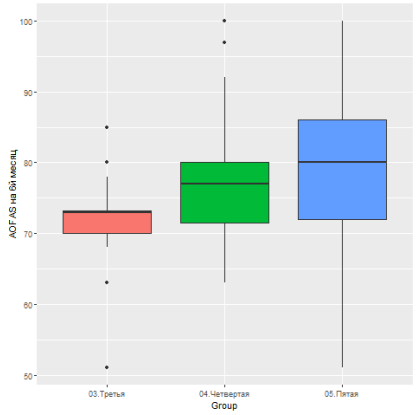
Показатель	3 группа (n = 34)		4 группа (n = 34)		5 группа (n = 187)		
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц							p-уровень
отлично	0	0%	3	15%	25	18,25%	<0,01
удовлетворительно	16	80%	7	35%	46	33,58%	
хорошо	4	20%	10	50%	66	48,18%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц							p-уровень
отлично	3	15%	8	40%	27	19,71%	0,18
удовлетворительно	6	30%	5	25%	29	21,17%	
хорошо	11	55%	7	35%	81	59,12%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц							p-уровень
отлично	2	10%	8	40%	41	29,93%	<0,01
удовлетворительно	9	45%	1	5%	20	14,6%	
хорошо	9	45%	11	55%	76	55,47%	
Осложнения к 24му месяцу							p-уровень
Метатарзалгии	4	20%	1	5%	10	7,3%	0,38
Тугоподвижность	1	5%	2	10%	10	7,3%	
Рецидив деформации	4	20%	3	15%	20	14,6%	

Таблица 6.6. Попарное сравнение результатов шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции, оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений среди 3,4,5 групп в выборке дополнительных остеотомий.

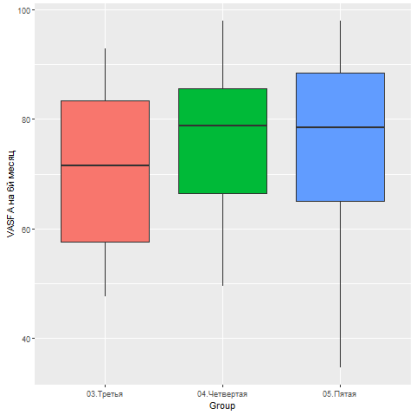
Показатель	3 и 4 группы (p-уровень)	3 и 5 группы (p-уровень)	4 и 5 группы (p-уровень)
AOFAS на 6й месяц	0,04	0,01	0,57
VASFA на 6й месяц	0,43	0,43	0,79
MOXFQ на 6й месяц	1	1	1
AOFAS на 12й месяц	0,11	0,11	0,56
VASFA на 12й месяц	0,03	0,03	0,26
MOXFQ на 12й месяц	0,37	0,37	0,37
HVIP на 12й месяц	0,83	0,33	0,83
HVA на 12й месяц	0,01	<0,01	0,17
IMA на 12й месяц	<0,01	<0,01	0,14
DMAA на 12й месяц	0,6	0,28	0,29
AOFAS на 24й месяц	0,02	0,01	0,82
VASFA на 24й месяц	<0,01	0,01	0,31
MOXFQ на 24й месяц	0,34	0,35	0,35
HVIP на 24й месяц	0,81	0,35	0,81
HVA на 24й месяц	0,01	<0,01	0,28
IMA на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,08
DMAA на 24й месяц	0,92	0,15	0,21
Длительность операции	1	1	1
Оценка шкал AOFAS на 6й месяц	0,01	<0,01	0,94
Оценка шкал AOFAS на 12й месяц	0,12	0,08	0,28
Оценка шкал AOFAS на 24й месяц	0,01	<0,01	0,41
Осложнения к 24му месяцу	0,32	0,17	0,86

Для большей наглядности результаты сравнения групп переставлены в виде графиков «коробчатая диаграмма» с регистрацией средних значений показателей в виде линии.

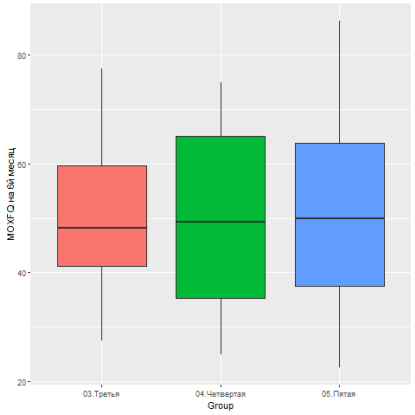
AOFAS на 6й месяц



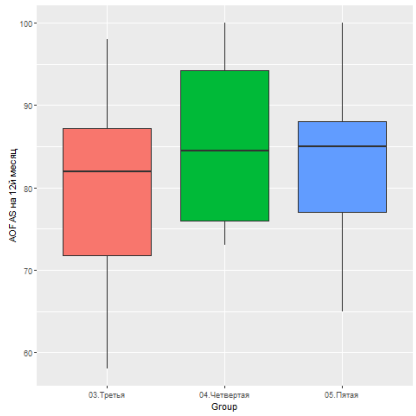
VASFA на 6й месяц



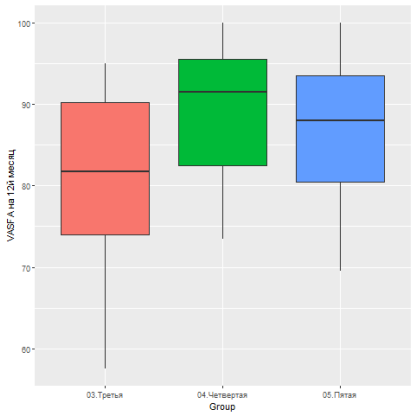
MOXFQ на 6й месяц



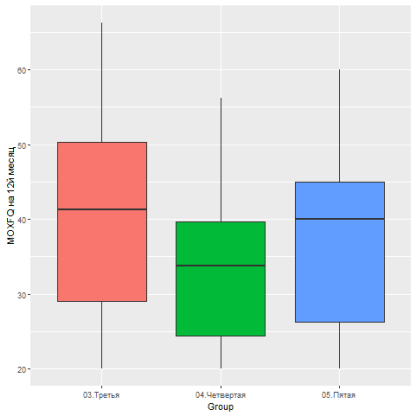
AOFAS на 12й месяц



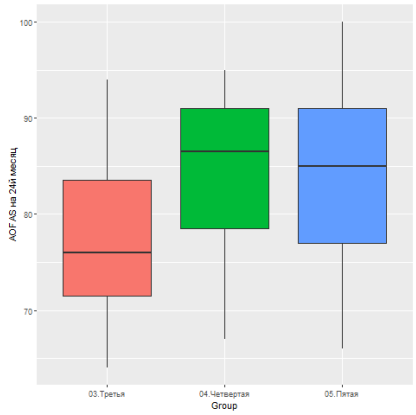
VASFA на 12й месяц



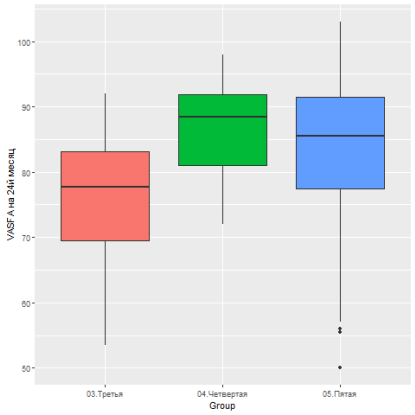
MOXFQ на 12й месяц



AOFAS на 24й месяц



VASFA на 24й месяц



MOXFQ на 24й месяц

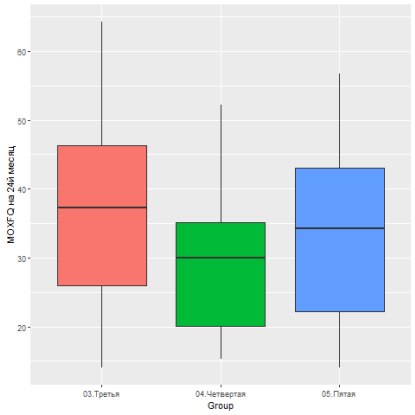
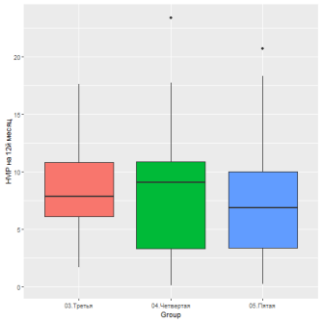
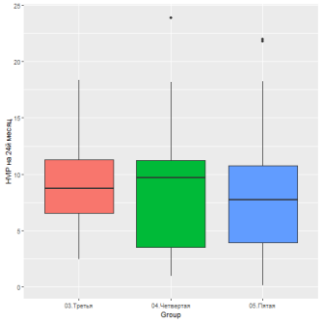


Рисунок 6.3. Результаты исследования анкетирования 3 (красный), 4 (зеленый), 5 (синий) группы в выборке дополнительных остеотомий.

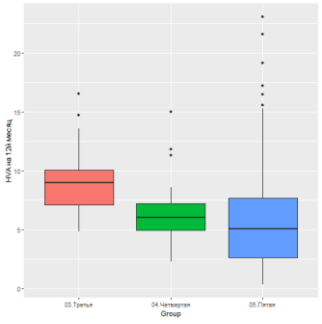
HVIP на 12й месяц



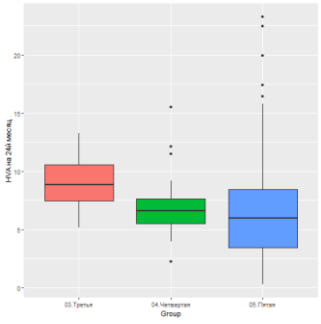
HVIP на 24й месяц



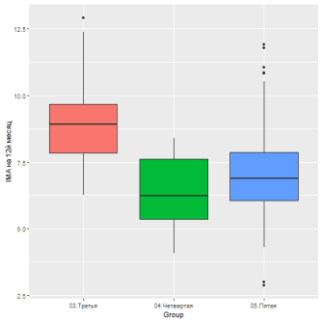
HVA на 12й месяц



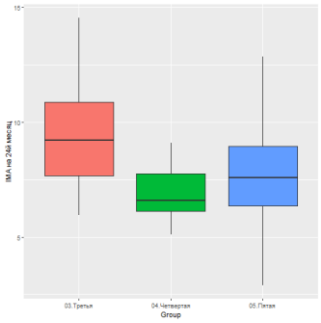
HVA на 24й месяц



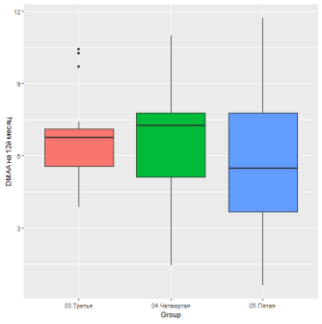
IMA на 12й месяц



IMA на 24й месяц



DMAA на 12й месяц



DMAA на 24й месяц

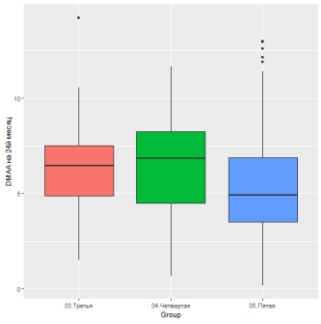


Рисунок 6.4. Результаты исследования рентгенологических показателей 3 (красный), 4 (зеленый), 5 (синий) группы в выборке дополнительных остеотомий.

6.3. Результаты сравнения между третьей, четвертой, пятой группами в выборке без дополнительных остеотомий

Результаты третьей группы представлены в главе № 4.

Среднее время операции в четвертой группе составило 27,86 ± 6,42 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 77,07 ± 10,2 баллов. При этом у 9 пациентов (64,29 %) результат оценен как удовлетворительный, у 5 (35,71 %) – хороший. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов четвертой группы в выборке без дополнительных остеотомий составил 76,96 ± 14,23 баллов, по шкале MOXFQ - 50,8 ± 15,5 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий составил 86 ± 8,92 баллов. При этом у 1 пациентов (7,14 %) результат оценен как удовлетворительный, у 9 (64,29 %) - хороший, у 4 (28,57 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 89,68 ± 7,63 баллов, по шкале MOXFQ - 37,14 ± 11,87 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 10,26 ± 4,3 градусов, HVA - 5,9 ± 2,98 градусов, IMA - 6,56 ± 1,18 градусов, DMAA - 5,99 ± 3,25 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 86,79 ± 8,63 баллов. При этом у 2 пациентов (14,29 %) результат оценен как удовлетворительный, у 4 (28,57 %) - хороший, у 8 (57,14 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов четвертой группы составил 87,39 ± 6,42 баллов, по шкале MOXFQ - 33,29 ± 11,78 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 10,82 ± 4,32 градусов, HVA - 6,33 ± 3,01 градусов, IMA - 6,7 ± 1,08 градусов, DMAA - 6,44 ± 3,59 градусов.

На этом сроке в четвертой группе в выборке без дополнительных остеотомий было зарегистрировано 12 (85,71 %) случая метатарзалгий, случаев тугоподвижности не было зарегистрировано. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 1 (7,14 %).

Среднее время операции в пятой группе составило 31,44 ± 13,11 минут.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 6 месяцев после операции в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 76,08 ± 13,2 баллов. При этом у 20 пациентов (40 %) результат оценен как удовлетворительный, у 23 (46 %) - хороший, у 7 (14 %) – отличный. На этом же сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов пятой группы в выборке без дополнительных остеотомий составил 76,75 ± 14,17 баллов, по шкале MOXFQ - 49,4 ± 16,05 баллов.

Через 12 месяцев после операции средний результат по шкале AOFAS в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий составил 82,62 ± 8,2 баллов. При этом у 11 пациентов (22 %) результат оценен как удовлетворительный, у 31 (62 %) - хороший, у 8 (16 %) – отличный. Через 12 месяцев после операции средний результат анкетирования в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий по шкале VASFA составил 85,52 ± 8,05 баллов, по шкале MOXFQ - 36,27 ± 8,88 баллов.

На этом же сроке среднее значение HVIP в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 7,45 ± 3,77 градусов, HVA - 5,37 ± 4,29 градусов, IMA - 6,83 ± 1,72 градусов, DMAA - 5,12 ± 2,69 градусов.

Среднее значение результатов анкетирования по шкале AOFAS через 24 месяца после операции в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 82,54 ± 9,9 баллов. При этом у 10 пациентов (20 %) результат оценен как удовлетворительный, у 27 (54 %) - хороший, у 13 (26 %) – отличный. На этом же

сроке средний результат по шкале VASFA у пациентов пятой группы составил 83,94 ± 9,28 баллов, по шкале MOXFQ - 33,94 ± 12,34 баллов.

Через 24 месяца после операции среднее значение HVIP в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий составило 8,08 ± 3,69 градусов, HVA - 5,95 ± 4,28 градусов, IMA - 7,58 ± 1,65 градусов, DMAA - 4,86 ± 2,66 градусов.

На этом сроке в пятой группе в выборке без дополнительных остеотомий было зарегистрировано 5 (10 %) случая метатарзалгий, 7 (14 %) случая тугоподвижности. При этом рецидивов деформации было зарегистрировано 6 (12 %).

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал наличие достоверных различий по некоторым показателям.

На 6й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,04) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 и 5 группы.

На 12й месяц после операции по показателям AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 и 5 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,03) в пользу 4 группы.

На 24й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 группы., VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,02) в пользу 4. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 группы.

Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA показали достоверные различия при сравнении показателей HVA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 группы. На этом же сроке также при сравнении показателей IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в

пользу 4 и 5 группы. На сроке 24 месяца после операции тенденция значимых различий сохранилась при сравнении показателей HVA, IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно).

Не были отмечены достоверные различия во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 6.7, Таблица 6.8, Таблица 6.9, Рисунок 6.5, Рисунок 6.6).

Таблица 6.7. Результаты шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции 3,4,5 групп в выборке без дополнительных остеотомий. Формат записи: $\bar{x} \pm \sigma_x$

Показатель	3 группа (n = 34)	4 группа (n = 34)	5 группа (n = 187)	p-уровень
AOFAS на 6й месяц	69,36±5,56	77,07±10,2	76,08±13,2	0,04
VASFA на 6й месяц	69,39±13,45	76,96±14,23	76,75±14,17	0,14
MOXFQ на 6й месяц	57,05±13,37	50,8±15,5	49,4±16,05	0,19
AOFAS на 12й месяц	74,21±10,02	86±8,92	82,62±8,2	<0,01
VASFA на 12й месяц	83,29±6,15	89,68±7,63	85,52±8,05	0,08
MOXFQ на 12й месяц	37,41±11,92	37,14±11,87	36,27±8,88	0,88
HVIP на 12й месяц	7,88±4,41	10,26±4,3	7,45±3,77	0,1
HVA на 12й месяц	8,67±1,84	5,9±2,98	5,37±4,29	<0,01
IMA на 12й месяц	9,22±1,95	6,56±1,18	6,83±1,72	<0,01
DMAA на 12й месяц	7,54±1,73	5,99±3,25	5,12±2,69	0,01
AOFAS на 24й месяц	76,21±9,18	86,79±8,63	82,54±9,9	0,02
VASFA на 24й месяц	80,11±5,73	87,39±6,42	83,94±9,28	0,04
MOXFQ на 24й месяц	33,12±11,98	33,29±11,78	33,94±12,34	0,98
HVIP на 24й месяц	8,41±4,46	10,82±4,32	8,08±3,69	0,11
HVA на 24й месяц	9,86±2,23	6,33±3,01	5,95±4,28	<0,01
IMA на 24й месяц	10,72±2,38	6,7±1,08	7,58±1,65	<0,01
DMAA на 24й месяц	5,7±2,46	6,44±3,59	4,86±2,66	0,14
Длительность операции	33,57±7,19	27,86±6,42	31,44±13,11	0,07

Таблица 6.8. Результаты оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений 3,4,5 групп в выборке без дополнительных остеотомий (абсолютное значение(количество), относительное значение (% от группы)).

Показатель	3 группа (n = 34)		4 группа (n = 34)		5 группа (n = 187)		
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц							p-уровень
отлично	0	0%	0	0%	7	14%	0,01
удовлетворительно	12	85,71%	5	35,71%	20	40%	
хорошо	2	14,29%	9	64,29%	23	46%	
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц							p-уровень
отлично	1	7,14%	4	28,57%	8	16%	0,08
удовлетворительно	7	50%	1	7,14%	11	22%	
хорошо	6	42,86%	9	64,29%	31	62%	
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц							p-уровень
отлично	0	0%	8	57,14%	13	26%	0,02
удовлетворительно	5	35,71%	2	14,29%	10	20%	
хорошо	9	64,29%	4	28,57%	27	54%	
Осложнения к 24му месяцу							p-уровень
Метатарзалгии	3	21,43%	12	85,71%	5	10%	0,44
Тугоподвижность	1	7,14%	0	0%	7	14%	
Рецидив деформации	3	21,43%	1	7,14%	6	12%	

Таблица 6.9. Попарное сравнение результатов шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц, длительности операции, оценки шкалы AOFAS на 6,12,24 месяцы, регистрации осложнений среди 3,4,5 групп в выборке без дополнительных остеотомий.

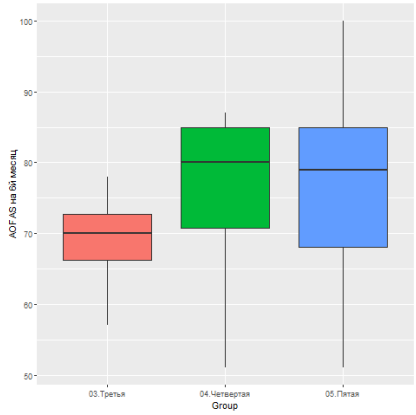
Показатель	3 и 4 группы (p-уровень)	3 и 5 группы (p-уровень)	4 и 5 группы (p-уровень)
AOFAS на 6й месяц	<0,01	0,04	0,9
VASFA на 6й месяц	0,26	0,16	0,93
MOXFQ на 6й месяц	0,5	0,2	0,85
AOFAS на 12й месяц	0,01	0,01	0,11
VASFA на 12й месяц	0,1	0,38	0,16

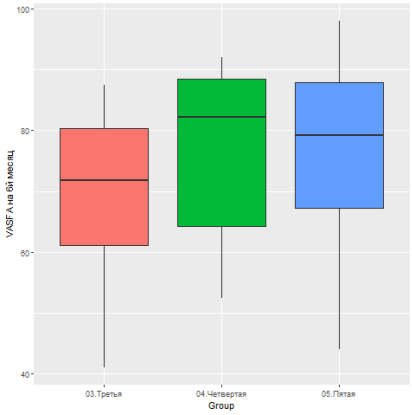
Продолжение таблицы 6.9.

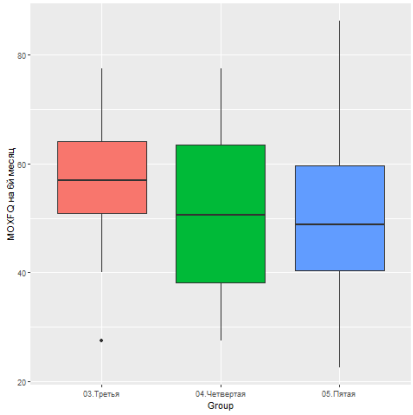
Показатель	3 и 4 группы (p-уровень)	3 и 5 группы (p-уровень)	4 и 5 группы (p-уровень)
MOXFQ на 12й месяц	1	1	1
HVIP на 12й месяц	0,36	0,48	0,12
HVA на 12й месяц	0,01	<0,01	0,25
IMA на 12й месяц	<0,01	<0,01	0,71
DMAA на 12й месяц	0,14	0,11	0,38
AOFAS на 24й месяц	0,01	0,16	0,16
VASFA на 24й месяц	0,02	0,18	0,18
MOXFQ на 24й месяц	1	1	1
HVIP на 24й месяц	0,39	0,47	0,13
HVA на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,39
IMA на 24й месяц	<0,01	<0,01	0,16
DMAA на 24й месяц	0,98	0,35	0,35
Длительность операции	0,09	0,19	0,23
Оценка шкал AOFAS на 6й месяц	0,01	0,01	0,25
Оценка шкал AOFAS на 12й месяц	0,03	0,11	0,33
Оценка шкал AOFAS на 24й месяц	<0,01	0,08	0,09
Осложнения к 24му месяцу	0,17	0,45	0,46

Для большей наглядности результаты сравнения групп переставлены в виде графиков «коробчатая диаграмма» с регистрацией средних значений показателей в виде линии.

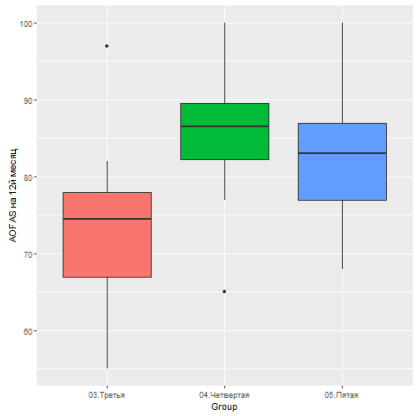
Рис. AOFAS на 6й месяц VASFA на 6й месяц MOXFQ на 6й месяц

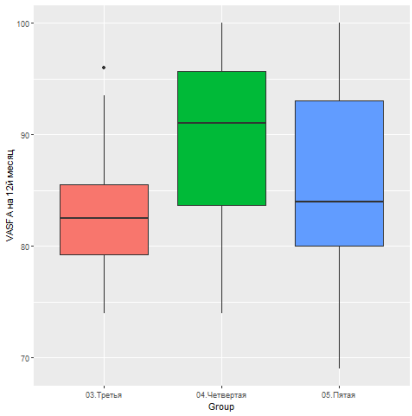


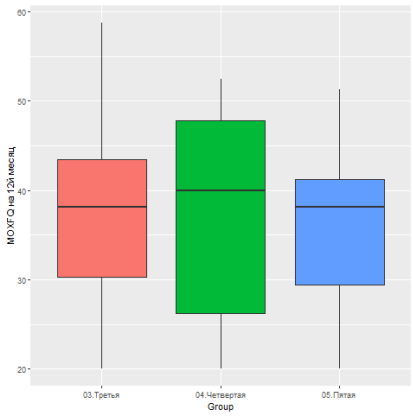




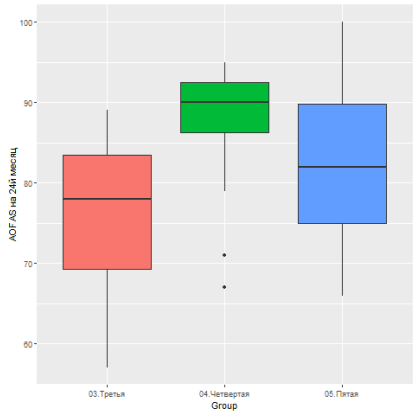
AOFAS на 12й месяц VASFA на 12й месяц MOXFQ на 12й месяц

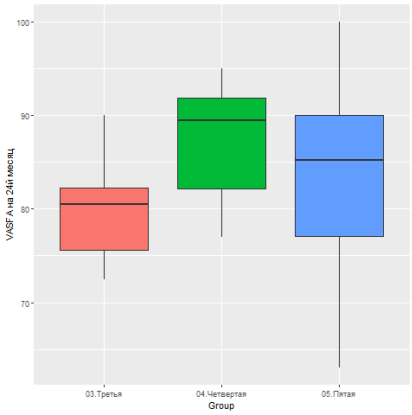






AOFAS на 24й месяц VASFA на 24й месяц MOXFQ на 24й месяц





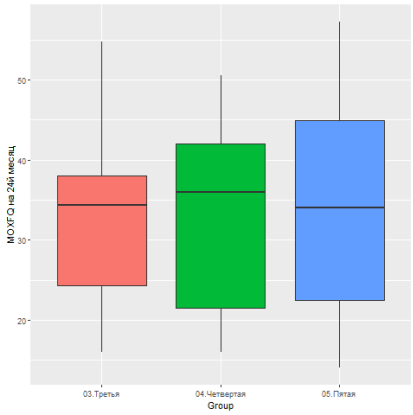
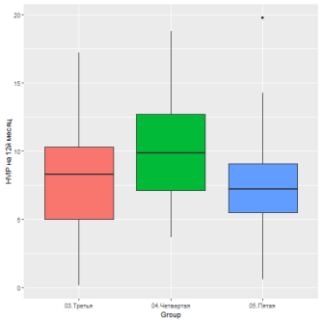
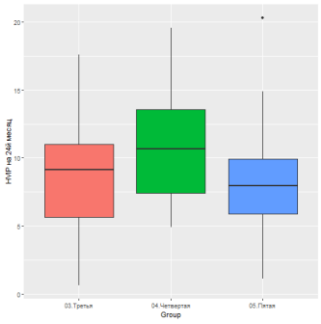


Рисунок 6.5 Результаты исследования анкетирования 3 (красный), 4 (зеленый), 5 (синий) группы в выборке без дополнительных остеотомий.

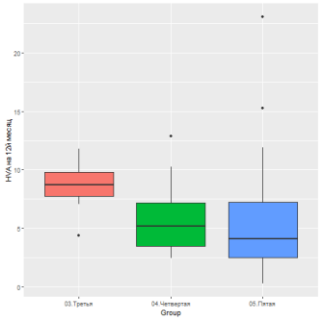
HVIP на 12й месяц



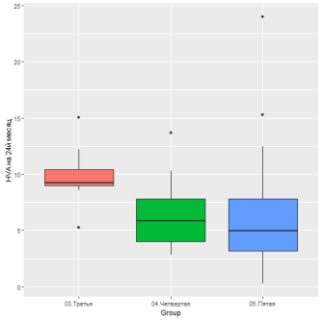
HVIP на 24й месяц



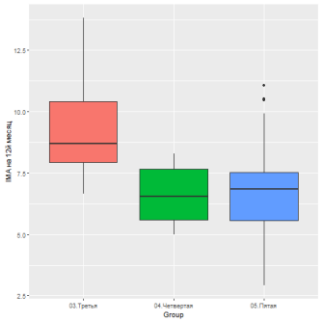
HVA на 12й месяц



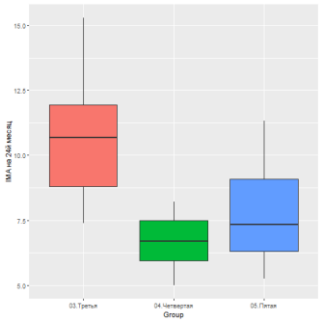
HVA на 24й месяц



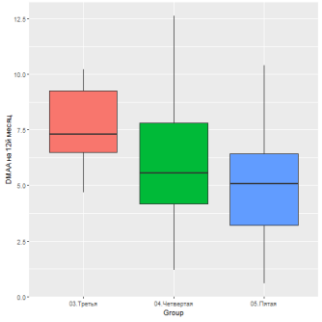
IMA на 12й месяц



IMA на 24й месяц



DMAA на 12й месяц



DMAA на 24й месяц

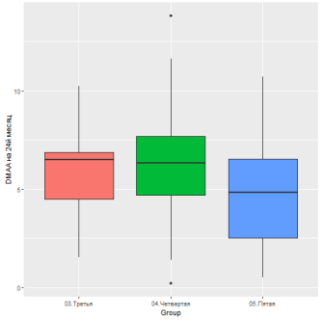


Рисунок 6.6 Результаты исследования рентгенологических показателей 3 (красный), 4 (зеленый), 5 (синий) группы в выборке без дополнительных остеотомий.

6.4. Сравнение результатов между подгруппами дополнительных остеотомий и без дополнительных остеотомий внутри каждой из групп

В этом разделе будут представлены сравнительные результаты внутри каждой их групп между подгруппами дополнительных остеотомий и без дополнительных остеотомий.

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между подгруппами по признаку наличия или отсутствия дополнительных остеотомий в третьей, четвертой и пятой группами. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении подгрупп по признаку наличия остеотомий. Также не отмечено достоверных различий во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Отсутствие внутригрупповой разницы между подгруппами по признаку наличия или отсутствию дополнительных остеотомий указывает отсутствие влияния фактора выполнения дополнительных остеотомий дополнительных остеотомий на общий результат (Таблица 6.10).

Таблица 6.10. Результаты внутригрупповой разницы по признаку наличия или отсутствия дополнительных остеотомий шкал AOFAS, VASFA, MOXFQ на 6,12,24 месяц, рентгенологических показателей HVIP, HVA, IMA, DMAA на 12,24 месяц регистрации осложнений 3,4,5 группы.

Показатель	3 групп (p-уровень)	4 группа (p-уровень)	5 группа (p-уровень)
AOFAS на 6й месяц	0,21	0,5	0,63
VASFA на 6й месяц	0,83	0,97	0,79
MOXFQ на 6й месяц	0,15	0,82	0,69
AOFAS на 12й месяц	0,1	0,67	0,48
VASFA на 12й месяц	0,52	0,96	0,26

Продолжение таблицы 6.10.

Показатель	3 групп (p-уровень)	4 группа (p-уровень)	5 группа (p-уровень)
MOXFQ на 12й месяц	0,61	0,33	0,39
HVIP на 12й месяц	0,74	0,23	0,41
HVA на 12й месяц	1	0,41	0,38
IMA на 12й месяц	0,99	0,7	0,38
DMAA на 12й месяц	0,19	0,42	0,32
AOFAS на 24й месяц	0,89	0,36	0,16
VASFA на 24й месяц	0,33	0,75	0,8
MOXFQ на 24й месяц	0,49	0,32	0,84
HVIP на 24й месяц	0,74	0,2	0,41
HVA на 24й месяц	0,43	0,38	0,38
IMA на 24й месяц	0,13	0,78	0,82
DMAA на 24й месяц	0,54	0,88	0,34
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц	0,67	0,3	0,65
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц	0,46	0,19	0,85
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц	0,34	0,27	0,65
Осложнения к 24му месяцу	0,96	0,66	0,28

Для демонстрации применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя хирургом, осваивающим методику, мы приводим клинический пример №4 пациента из 4й группы. (Рисунок 6.7).

Клинический случай №4. Пациентка П., 38 лет. ИМТ пациентки 24,63 кг/м^2, что было интерпретировано как нормальная масса тела. Степень деформации была интерпретирована как средняя. HVIPA до операции был 11,68 градусов, HVA - 28,51 градусов, IMA - 16,43 градусов, DMAA градусов 13,64 градусов. AOFAS до операции составил 57 баллов, VASFA – 28 балл, MOXFQ - 54,25 баллов. Оценка удовлетворенности функцией стопы по AOFAS была «удовлетворительно».

Выполнена операция остеотомии scarf по предложенному методу с применением индивидуального шаблона-направителя. Время операции составило 40 минут. Так как угол HVIPA превышал значение 9 градусов, была проведена

операция дополнительной остеотомии Akin. Осложнений зарегистрировано не было.

HVIPA на 12й месяц был 7,22 градусов, HVA - 6,88 градусов, IMA - 8,73 градусов, DMAA градусов 5,9 градусов. HVIPA на 24й месяц был 7,52 градусов, HVA - 7,23 градусов, IMA - 9,1 градусов, DMAA градусов 6,0 градусов.

AOFAS на 6й месяц составил 88 баллов, VASFA – 68 баллов, MOXFQ - 22,5 баллов. AOFAS на 12й месяц составил 90 баллов, VASFA – 68 балл, MOXFQ - 20 баллов. AOFAS на 24й месяц составил 92 баллов, VASFA – 77,5 балл, MOXFQ - 12,45 баллов. Оценка удовлетворенности функцией стопы по AOFAS была «отлично».

А Б В Г

Рисунок 6.7. Клинический пример №4: Рентгенологическое изображение дорсоплнтарная проекция А – до операции, Б – виртуальное планирование остеотомии, В – применение индивидуального шаблона-направителя во время операции, Г- рентгенограмма на 24 месяц после операции.

6.5. Сравнение 1 и 5 групп клинического исследования

Для объективизации результатов обучения хирурга было проведено сравнение между результатами, полученными в группе, где опытный хирург выполнял

операции без комплекса трехмерного планирования и результатами хирурга, осваивающего методику, после обучения с использованием индивидуальных шаблонов-направителей, то есть первой группой и пятой группой.

Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между группами. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении первой и пятой групп. Также не отмечено достоверных различий во времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации (Таблица 6.11).

Таблица 6.11. Сравнительный анализ результатов между 1 и 5 группой, так же в подгруппах дополнительной остеотомии и без дополнительных остеотомий 1 и 5 групп.

Показатель	1 и 5 группы (р-уровень)	1 и 5 группы Подгруппы Дополнительных остеотомий (р-уровень)	1 и 5 группы Подгруппы Без дополнительных остеотомий (р-уровень)
AOFAS на 6й месяц	1	1	1
VASFA на 6й месяц	1	1	0,34
MOXFQ на 6й месяц	1	1	0,88
AOFAS на 12й месяц	1	1	0,84
VASFA на 12й месяц	0,2	1	0,1
MOXFQ на 12й месяц	1	1	1
HVIP на 12й месяц	1	1	1
HVA на 12й месяц	0,4	1	0,3
IMA на 12й месяц	1	1	1

Продолжение таблицы 6.11.

Показатель	1 и 5 группы (р-уровень)	1 и 5 группы Подгруппы Дополнительных остеотомий (р-уровень)	1 и 5 группы Подгруппы Без дополнительных остеотомий (р-уровень)
DMAA на 12й месяц	0,08	1	0,14
AOFAS на 24й месяц	1	1	1
VASFA на 24й месяц	1	1	0,76
MOXFQ на 24й месяц	1	1	1
HVIP на 24й месяц	1	1	1
HVA на 24й месяц	0,64	1	0,31
IMA на 24й месяц	0,99	1	1
DMAA на 24й месяц	0,2	0,07	0,08
Оценке шкал AOFAS на 6й месяц	0,29	0,71	1
Оценке шкал AOFAS на 12й месяц	0,9	0,37	0,27
Оценке шкал AOFAS на 24й месяц	0,43	0,6	0,3
Осложнения к 24му месяцу	0,19	0,51	0,26
Длительность операции	0,56	0,83	0,66

6.6. Уточнение, относительно неравномерности распределения по гендерному признаку

В текущем диссертационном исследовании существует неоднородность по гендерному признаку между группами (p-уровень = 0,03). Для уточнения того, насколько правомерно использовать результаты исследования для построения значимых выводов, был проведен расчет значимости влияния фактора пола на конечный результат. За основные интересующие переменны были выбраны значения HVA и IMA на 24 месяц. Далее с помощью линейной регрессии составлялась модель, где рассматривались факторы, влияющие на конечные значения угловых показателей, и определялось насколько фактор значим. Регрессионная модель учитывала факторы пол, возраст, индекс массы тела, наличие дополнительных остеотомий, уровень удовлетворенности функцией стопы перед операцией. По результатам расчетов фактор пола был не значим для значения HVA (p-уровень = 0,357) и также для значения IMA (p-уровень = 0,2648). Таким образом, нами было доказано отсутствие фактора пола на конечный результат лечения, что позволило считать сравниваемые группы однородными.

6.7. Анализ полученных результатов

Сравнительный анализ результатов лечения пациентов третьей, четвёртой и пятой групп исследования являлся завершающим этапом клинической его части [1]. Выявлено, что у пациентов третьей клинической группы как анатомические, так и функциональные результаты лечения на всех сроках наблюдения достоверно хуже пациентов четвёртой и пятой групп. Это свидетельствует о том, что базовый уровень мануальных навыков и навыков выполнения предоперационного планирования был недостаточно высоким для качественного выполнения операции и получения хорошего конечного анатомического и функционального результата.

Применение метода трёхмерного планирования и выполнения операции с использованием индивидуальных шаблонов-направителей позволило качественно улучшить результаты лечения. Кроме того, сравнение результатов лечения пациентов четвёртой и пятой групп исследования показало отсутствие достоверных различий по всем параметрам на всех сроках наблюдения. Это обстоятельство убедительно свидетельствует о том, что после опыта оперативного лечения с использованием метода трёхмерного планирования с применением индивидуальных шаблонов-направителей мастерство хирурга устойчиво повышается и он способен в дальнейшем выполнять операции с высоким качеством без применения предложенного метода предоперационного планирования и выполнения операции. Для большей убедительности этого заключения нами произведено сравнение результатов лечения пациентов первой и пятой клинических групп, то есть больных, операции которым выполнены традиционным образом опытным хирургом и хирургом, осваивающим методику после опыта использования технологии трёхмерного планирования и применения индивидуальных шаблонов-направителей. В результате достоверных различий не было получено ни по одному из показателей, характеризующих как анатомические, так и функциональные результаты лечения.

Результаты, изложенные в этой главе, свидетельствуют о том, что пятая задача диссертационного исследования представляется решённой. Можно с уверенностью сказать, что предложенный нами метод трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести и применим в клинической практике и способствует освоению методики остеотомии scarf.

Кроме того, последовательно выполненной внутригрупповое и межгрупповой сравнение подгрупп с дополнительными остеотомиями Akin и/или дополнительных остеотомий других плюсневых костей и без применения дополнительных остеотомий не показало достоверных различий у пациентов с изучаемой патологией. Это показало, что дополнительные остеотомиями Akin

и/или дополнительные остеотомии других плюсневых костей не оказывают влияния на эффективность клинического применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести. Таким образом шестая задача настоящего исследования также представляется решенной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование было проведено с целью оценки технической возможности и эффективности клинического применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести.

Для достижения этой цели был последовательно решён ряд задач. С учётом того, что метод трёхмерного планирования с применением индивидуального шаблона направителя ранее не применялся при лечении деформаций переднего отдела стопы, нами была разработана метод трёхмерного планирования коррекции вальгусной деформации переднего отдела стопы лёгкой и средней тяжести на основе компьютерных томограмм стопы, выполненных с нагрузкой. На основании данных об имеющейся деформации и расчётных данных о желаемой её коррекции разработана метод изготовления индивидуального шаблона направителя. Получен ряд патентов на изобретения и полезные модели. Тем самым была решена первая задача настоящего исследования, что позволило перейти к изучению практических возможностей применения метода.

Следующим шагом явилось сравнение результатов данных коррекции приобретённой вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести, рассчитанных в виртуальной среде, с данными, полученными в результате биомеханического эксперимента на индивидуальной печатной модели стопы. Для этого на основании компьютерных томограмм 54 больных с вальгусной деформацией переднего отдела стопы легкой и средней тяжести выполнено виртуальное планирование коррекции имеющейся деформации, а также выполнена печать модели стопы и индивидуального шаблона направителя для каждого случая. В последующем на печатных моделях выполнена корригирующая остеотомия scarf с применением индивидуальных шаблонов направителей. При сравнении расчётных и реальных показателей коррекции деформации

статистически значимой разницы по показателям HVA и IMA между данными, рассчитанных в виртуальной среде и данными, полученными в результате эксперимента на индивидуальной печатной модели стопы (p-уровень = 1, p-уровень = 0,34 соответственно) не получено. Тем самым было доказано соответствие данных, рассчитанных в виртуальной среде, данным, полученным в результате биомеханического эксперимента на индивидуальной печатной модели стопы, что явилось решением второй задачи нашего исследования и позволило перейти к оценке возможности применения метода трехмерного планирования с созданием шаблона направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести в реальных условиях.

Для этого тем 54 пациентам, на основании компьютерных томограмм которых было выполнено виртуальное планирование и операция на индивидуальных печатных моделях, выполнена операция остеотомии scarf с применением индивидуального шаблона направителя в реальных условиях. При данных коррекции деформации, полученных в результате реально выполненной операции, с данными, рассчитанными в виртуальной среде и данными, полученными после операции на печатных моделях стоп, достоверных различий получено не было (по показателю HVA p-уровень составил 1, по показателю IMA - 0,34). Полученные данные о точности переноса данных с виртуальной модели в реальную клиническую практику свидетельствовали о решении третьей задачи настоящего исследования и определили возможность дальнейших клинических исследований, касающихся применения изучаемого метода.

Как известно, качество выполнения любого оперативного вмешательства напрямую зависит от квалификации выполняющего его хирурга. Изучаемая нами остеотомия scarf не является исключением, так как при традиционном методе планирования и выполнения операции направление опилов первой плюсневой кости и степень смещения остеотомированного фрагмента во многом определяются мастерством хирурга. Исходя из этого, нами сначала определён базовый уровень опытного хирурга, а затем оценено влияние метода трёхмерного

планирования с применением индивидуального шаблона направителя на работу опытного хирурга. Для этого было сформировано две группы пациентов по 29 больных. В первой группе опытный хирург планировал и выполнял операции по традиционному методу, а во второй использовал предложенный метод трёхмерного планирования с применением индивидуального шаблона направителя. Функциональные результаты по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий. Также не отмечено достоверных различий по времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Таким образом, в целом, достоверных различий в послеоперационных результатах у опытного хирурга получено не было.

Полученные данные свидетельствовали о том, что применение метода трёхмерного планирования с применением индивидуального шаблона направителя не оказывает существенного влияния на качество выполнения остеотомии scarf опытным хирургом. Это позволило решить четвёртую задачу нашего исследования и перейти к оценке влияния предложенной технологии на качество работы хирурга, осваивающего методику.

По аналогии с опытным хирургом, нами был определён базовый уровень хирурга, осваивающего методику остеотомии scarf. Для этого была сформирована третья клиническая группа из 34 пациентов, которым хирург, осваивающий методику, осуществил планирование и выполнение операции по традиционному методу.

После этого был проведен сравнительный анализ результатов первой группы, где операции были выполнения опытным хирургом без метода трехмерного планирования с созданием шаблона направителя и третьей группы, где операции были выполнения хирургом, осваивающим технику scarf, также традиционным способом без метода трехмерного планирования с созданием шаблона направителя. Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал наличие достоверных различий по

ряду показателей: на 6й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 1 группой (p-уровень = 0,01) в пользу 1 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 1 группой (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы, на 12й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 1 группой (p-уровень =0,03) в пользу 1 группы и VASFA (p-уровень =0,01) в пользу 1 группы. На 24й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 1 группой (p-уровень =0,02) в пользу 1 группы и VASFA (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы. Так же найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 1 группой (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA показали достоверные различия при сравнении показателей HVA между 3 и 1 группой (p-уровень <0,01) в пользу 1 группы на сроке 12 месяцев. На сроке 24 месяца после операции тенденция значимых различий сохранилась при сравнении показателей HVA, IMA между 3 и 1 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно). Не было отмечено достоверных различия по времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Полученные данные показали, что уровень хирургического мастерства хирурга, осваивающего методику, достоверно хуже навыков опытного хирурга, что позволило перейти к определению влияния использования предложенной нами технологии трёхмерного планирования с применением индивидуального шаблона направителя на качество работы хирурга, осваивающего методику.

Для этого хирург, осваивающий методику, выполнил операции 34 пациентам с применением технологии трёхмерного планирования с использованием индивидуального шаблона направителя (4 группа), после чего прооперировал 187 пациентов по традиционному методу без использования технологии трёхмерного планирования и индивидуального шаблона направителя (5 группа).

Далее был проведен сравнительный анализ третьей, четвертой и пятой групп, то есть результаты хирурга, осваивающего методику, до применения предложенного метода, во время его использования и последующей работы по

традиционной технике. Этот анализ позволил оценить влияние технологии трёхмерного планирования с применением индивидуального шаблона направителя на рост мастерства хирурга, осваивающего методику. Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал наличие достоверных различий по ряду показателей. На 6й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп, VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень =0,07) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,06) в пользу 4 и 5 групп. Также найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп. На 12й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,01) в пользу 4 и 5 групп, VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень =0,02) в пользу 4 и 5 групп. Также найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень =0,04) в пользу 4 группы. На 24й месяц после операции по показателю AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп, VASFA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп. Также найдена статистически значимая разница при категориальной оценке по шкале AOFAS между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величинах углов HVIP, HVA, IMA и DMAA показали достоверные различия при сравнении показателей HVA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп. На этом же сроке достоверные различия получены при сравнении показателей IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01) в пользу 4 и 5 групп. На сроке 24 месяца после операции тенденция значимых различий сохранилась при сравнении показателей HVA, IMA между 3 и 4 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно) и 3 и 5 группой (p-уровень <0,01, p-уровень <0,01 соответственно). Не было отмечено

достоверных различия по времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Полученные данные показали, что применение метода трёхмерного планирования с использованием индивидуального шаблона направителя позволило хирургу, осваивающему методику за короткий промежуток времени улучшить качество выполненных им операций и закрепить полученные навыки, что позволило ему выполнить серию из 187 операций по традиционной технологии с качеством, аналогичным таковому при использовании индивидуального шаблона направителя.

Для объективизации достигнутого уровня хирургического мастерства хирурга, осваивающего методику, нами был проведен сравнительный анализ первой, где операции были выполнения опытным хирургом без метода трехмерного планирования с созданием шаблона направителя в хирургическом лечении приобретенной вальгусной деформации переднего отдела стопы легкой и средней тяжести и пятой групп, где операции были выполнения хирургом, осваивающим технику scarf также традиционным способом, но после использования метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона направителя. Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между группами. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении первой и пятой групп. Также не отмечено достоверных различий по времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Таким образом, можно констатировать, что уровень хирургического мастерства хирурга, осваивающего методику, после серии операций по предложенному методу сравнялся с уровнем опытного хирурга. Тем самым была решена пятая задача настоящего исследования.

С учётом того, что во всех группах настоящего исследования были пациенты как с операциями изолированной остеотомии первой плюсневой кости, так и больные, которым в дополнение к остеотомии первой плюсневой кости были выполнены остеотомия Akin и/или остеотомии других плюсневых костей, нами для

определения степени влияния дополнительных остеотомий на эффективность клинического применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона направителя проведен внутригрупповой анализ между выборкой, где выполнялись дополнительные остеотомии и выборкой, где не выполнялись дополнительные остеотомии в первой, второй, третьей, четвертой и пятой группах. Сравнительный анализ функциональных результатов по шкалам AOFAS, VASFA, MOXFQ на всех сроках наблюдения показал отсутствие достоверных различий между подгруппами по признаку наличия или отсутствия дополнительных остеотомий. Анатомические результаты коррекции деформации, выраженные в величине углов HVIP, HVA, IMA и DMAA также не имели достоверных различий при сравнении подгрупп по признаку наличия остеотомий. Также не отмечено достоверных различий по времени выполнения операции, количеству осложнений и рецидивов деформации. Отсутствие внутригрупповой разницы между подгруппами по признаку наличия или отсутствию дополнительных остеотомий указывает на отсутствие влияния дополнительных остеотомий на эффективность клинического применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя, апостериорно было подтверждена равномерность групп и свидетельствует о решении шестой задачи нашего диссертационного исследования.

Таким образом, можно констатировать, что все поставленные в исследовании задачи были последовательно решены, а цель его достигнута. Вместе с тем, очевидно, что проблема использования аддитивных технологий в целом и создания индивидуальных шаблонов-направителей для ортопедических операций по поводу деформаций переднего отдела стопы далека от своего разрешения. Тем не менее, очевидно, что выполненная нами работа является шагом на пути определения места аддитивных технологий в ортопедии стопы и будет полезна при дальнейших исследованиях в этой области.

Нельзя также не обратить внимание на одно из ограничений нашего исследования. Безусловно, для более основательного с точки зрения формальной науки вывода о влиянии метода трёхмерного планирования с использованием

индивидуального шаблона-направителя на рост мастерства хирурга, осваивающего методику, было бы корректно сравнение результатов пятой группы нашего исследования с результатами хирурга, обладающего аналогичным уровнем мастерства, который выполнил аналогичное количество операций без применения предложенного метода только традиционным способом. Тем не менее, нельзя не учитывать то, что в нашем исследовании хирург выполнил только 34 операции с применением индивидуального шаблона-направителя за короткий промежуток времени, что явно недостаточно для качественного роста хирургического мастерства при условии традиционного выполнения операций. Кроме того, если бы проводилось сравнение двух хирургов с одинаковым базовым уровнем, было бы невозможно оценить влияние личностных факторов каждого из них на конечный результат, что снижало бы ценность полученных результатов. Обозначенные выше обстоятельства позволили нам считать, что предложенная метод положительно влияет на рост мастерства хирурга, осваивающего методику.

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод, который позволяет на основе результатов компьютерной томографии пациентов с приобретенной вальгусной деформацией переднего отдела легкой и средней тяжести создать индивидуальные виртуальную и печатную модель стопы, осуществить трехмерное планирование, а также создание индивидуального шаблона-направителя для выполнения остеотомии scarf.

2. Данные предоперационного планирования операции остеотомии scarf, полученные в условиях биомеханического эксперимента в виртуальной среде, соответствуют реальным данным, полученным после оперативного вмешательства с применением метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя на индивидуальной печатной модели стопы, о чём свидетельствует отсутствие достоверных различий в показателях HVA и IMA (p-уровень 1 и 0,34 соответственно).

3. Метод трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя может применяться в реальных условиях в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести, так как сравнение данных коррекции, рассчитанных в виртуальной среде и данных, полученных после выполнения операции остеотомии scarf в реальных условиях с использованием индивидуального шаблона-направителя достоверных различий в показателях HVA и IMA не продемонстрировали (p-уровень 1 и 0,34 соответственно).

4. Метод трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести не оказывает влияния на качество выполнения операции опытным хирургом.

5. Применение метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных

деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести хирургом, осваивающим методику, позволяет достоверно улучшить анатомические и функциональные результаты операции и довести их уровень до уровня результатов опытного хирурга.

6. Сопутствующие остеотомии Akin и/или малоинвазивные остеотомии II, III, IV, V плюсневых костей, выполненные по соответствующим показаниям, не оказывают влияния на эффективность клинического применения метода трехмерного планирования с созданием индивидуального шаблона-направителя в хирургическом лечении приобретенных деформаций переднего отдела стопы легкой и средней тяжести.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для улучшения пространственного понимания характера деформации стопы и повышения качества планирования операции ее коррекции целесообразно изучение компьютерной томографии стоп с нагрузкой как в режиме срезов, так в режиме 3d реконструкции.

2. Целесообразно обучение с целью отработки мануальных навыков до начала практического выполнения операции корригирующей остеотомии хирургом, осваивающим методику. При этом одним из способов тренировки мануальных навыков может быть использование технологии трехмерного планирования с созданием индивидуальных печатных моделей.

3. При планировании и выполнении операции корригирующей остеотомии scarf необходимо особое внимание уделять корректности пространственного выбора плоскости остеотомии.

4. В рутинной практике опытному хирургу весь комплекс виртуального предоперационного планирования с применением навигационных индивидуальных шаблонов-направителей нецелесообразен.

5. В протокол предоперационного планирования при наличии показаний можно включать дополнительные остеотомии плюсневых костей, остеотомию Akin, так как они не влияют на результаты клинического применения метода трёхмерного предоперационного планирования с использованием индивидуального шаблона-направителя.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

AOFAS - шкала американского ортопедического общества стопы и голеностопного сустава (american orthopaedic foot ankle society)

AR - дополненная реальность (augmented reality)

DMAA - дистальный плюсневой суставной угол (distal metatarsal articular angle)

EFAS - шкала европейское общество стопы и голеностопного сустава (european foot and ankle society)

FAAM - измерения способности стопы и голеностопного сустава (foot and ankle ability measures)

FADI - индекс недееспособности стопы и голеностопного сустава (foot and ankle disability index)

FDM - моделирование плавленого осаждения (fused deposition modeling)

FFI - индекса функции стопы (foot function index)

FHSQ - анкета о состоянии здоровья стоп (foot health status questionnaire)

HSS – шкала больницы специальной хирургии (hospital for special surgery)

HV - вальгусная деформация первого пальца стопы (hallux valgus)

HVA - угол деформации hallux valgus (hallux valgus angle)

HVIPA - первый межфаланговый угол (hallux valgus interphalangeal angle)

IMA - межплюсевый угол (intermetatarsal angle)

MOXFQ – Манчестерско-Оксфордская шкала оценки функции стопы (Manchester-Oxford Foot Questionnaire)

SF-36 - опросник sf-36 (the short form (36) health survey)

SLS - селективное лазерное спекание (selective laser sintering)

STL – стереолитография (stereolithography)

VR - виртуальная реальность (virtual reality)

ДДЗП – дегенеративно-дистрофическое заболение позвоночника.

МДКТ - многорядные детекторы компьютерной томографии

МРТ – магнитно-резонансная томография

МСКТ - мультиспиральная компьтерная томография

ПОАП - программное обеспечение для автоматизированного проектирования.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Шкала AOFAS, Американского ортопедического общества стопы и голеностопного сустава

1. Испытываете ли Вы болевые ощущения? Нет (40 баллов) Умеренно, редко (30 баллов) Сильные, ежедневно (20 баллов) Очень сильные, присутствуют постоянно (0 баллов)
2. Ограничение активности Нет ограничений ежедневной активности (10 баллов) Нет ограничений ежедневной активности, только при избыточной нагрузке (7 баллов) Ежедневные ограничения, невозможность избыточной нагрузки. (4 баллов) Ограничения, исключающие любую активность (0 баллов)
3. Ваше требование к обуви Модная, удобная, не требующая стелек (15 баллов) Комфортная с ортопедическими стельками (5 баллов) Только специально подобранная или брейс (0 баллов)
4. Объём движений в первом плюснефаланговом суставе Полный или небольшое ограничение (15 баллов) Умеренное ограничение (5 баллов) Значительное ограничение (0 баллов)

5. Объём движений в межфаланговом суставе Нет ограничений (5 баллов) Значительные ограничения (0 баллов)
6. Стабильность в плюснефаланговом и межфаланговом суставах (все направления) (5 баллов) стабильны нестабильны, либо легко смещаются (0 баллов)
7.**Гиперкератозы (мазоли, уплотнение кожи)** **в зоне суставов первого луча** нет или бессимптомные (5 баллов) есть, болезненные (0 баллов)
Ось первого луча (есть или нет при внешнем осмотре отклонение 1 пальца в сторону остальных
8. Степень восстановления оси Восстановлена (15 баллов) Косметически приемлема, но небольшой бессимптомный Halluxvalgus (8 баллов) Не восстановлена, очевидный рецидив деформации (0 баллов)

Шкала VASFA Визуальная аналоговая шкала оценки функционального состояния стопы и голеностопного сустава (Visual Analogue Scale Foot and Ankle)

Сильная хромота	**1. Как сильно проблемы со стопой мешают при ходьбе?**	Без изменений, нормальная походка
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Постоянно, всегда	2. **Как часто Вы испытываете боль в состоянии покоя?**	Никогда, очень редко
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Чрезмерная боль	3. **Какой интенсивности боль в состоянии покоя?**	Нет боли
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Постоянно, всегда	4. **Как часто Вы испытываете боль при физической активности?**	Никогда, очень редко
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Чрезмерная боль	5. **Какой интенсивности боль при физической активности?**	Нет боли
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Слабость сильно ограничивает	6. **Есть ли ощущение, что одна нога слабее другой?**	Сила как в здоровой ноге
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		

Распространённая болезненная мозоль	7. **Есть ли у Вас мозоли на стопе/стопах?**	Нет мозоли
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Сустав не сгибается	8. **Есть ли ограничения при движениях в голеностопном суставе/суставах?**	Нет ограничений движения
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Подъем по ступенькам невозможен	9. **Есть ли ограничения при подъеме по ступенькам?**	Нет ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Сильное влияние	10. **Сильно ли проблемы со стопой влияют на Вашу деятельность?**	Нет ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Вождение не возможно	11. **Есть ли трудности при вождении автомобиля (педали)?**	Нет ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Недолго с тростью	12. **Как долго можете стоять без проблем в стопе?**	Более часа, без ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Стоять невозможно	13. **Возникают ли проблемы при стоянии на одной ноге?**	Нет ограничений

- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Невозможно/долго с тростью	14. **Как долго можете ходить без проблем в стопе?**	Более часа, без ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Спорт невозможен	15. **Проблемы со стопой останавливают Вас от занятий спортом?**	Нет ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Нужна посторонняя помощь	**16. Насколько ограничена повседневная активность?**	Нет ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Путешествия невозможны	**17. Проблемы со стопой останавливают Вас от путешествий?**	Нет ограничений
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Ортопедическая обувь	**18.Есть ли проблемы с выбором обуви?**	Любой тип обуви
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Ходьба невозможна	**19.Есть ли ограничения при ходьбе по неровной поверхности?**	Нет ограничений

- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Чувствительность отсутствует	**20.Есть ли снижение чувствительности в стопе/стопах?**	Нормальная чувствительность
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		

Шкала MOXFQ. Адаптированная анкета MOXFQ. (The Manchester-Oxford Foot Questionnaire)

Баллы	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Вопросы:					
1. Боль в стопе/голеностопе	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
2. Избегаю ходить на большую дистанцию, т.к. возникает боль	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
3. Выбираю дорогу, т.к. возникает боль в стопе	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
4. Хожу медленно, из-за возникающей боли	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
5. Останавливаюсь и отдыхаю из-за боли в стопе	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
6. Избегаю ходить по жёсткой и неровной поверхности	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда

7. Стараюсь долго не стоять из-за возникающей боли в стопе	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
8. Использую общественный транспорт или машину вместо того, чтобы ходить пешком из-за боли	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
9. Чувствую неловкость в голеностопе/ стопе	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
10. Чувствую неудобство при ношении обуви	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
11. Боль в стопе/голеностопе больше беспокоит вечером	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
12. У меня стреляющая боль в стопе/голеностопе	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
13. Боль препятствует выполнению моей работы или повседневной активности	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда
14. Не способен к выполнению	Совсем нет	Редко	Иногда	Часто	Всегда

общественной работы или развлечениям из-за болей					
15. Как Вы опишите боль, которая Вас беспокоит в течении 4х последних недель в стопе/голеностопном суставе?	Нет	Слабая	Умеренная	Средняя	Тяжёлая
16. Беспокоила ли Вас в течении 4х последних недель боль в стопе/голеностопном суставе лежа в кровати ночью?	Нет	1 или 2 ночи	Несколько ночей	Большинство ночей	Все ночи

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулаев, А. А. Практическое применение навигационных шаблонов в обучении хирурга технике корригирующей остеотомии scarf / А.А. Акулаев, А. А. Повалий // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 2. – С. 155.

2. Акулаев, А. А., Повалий А. А. Опыт применения трехмерного предоперационного планирования и резекционных шаблонов-направителей при остеотомии scarf при легких и средних деформациях hallux valgus / А.А. Акулаев, А. А. Повалий // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2021. – № 2 (44). – С. 41–48.

3. Акулаев, А. А. Инновационный индивидуальный подход в симуляционном обучении хирургии стопы / А. А. Акулаев, А. В. Филиппова, К. А. Тищенков // Виртуальные технологии в медицине. – 2018. – С. 50–51.

4. Акулаев, А. А. Технологии трехмерного планирования и печати в травматологии и ортопедии / А. А. Акулаев, А.А. Повалий, И.Г. Беленький // Журнал неотложная хирургия им. И.И. Джанелидзе. – 2022. –№ 2. – С. 54–61.

5. Акулаев, А. А. Когда требуется выполнение дополнительной остеотомии Akin при выполнении остеотомии scarf при легких и средних деформациях hallux valgus? / А.А. Акулаев, И.Г. Беленький, К.А. Тищенков [и др.] // Медицинский альянс. – 2022. –№ 4. – С. 55–62.

6. Безгодков Ю. А. Хирургическое лечение статических деформаций стоп/ Ю.А. Безгодков, Д. Аль, А.Г. Осланова [и др.] //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 3. – С. 528-528.

7. Беленький, И. Г. Современные взгляды на хирургическое лечение hallux valgus / И.Г. Беленький, Г.Д. Сергеев, А.В. Олейник [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – №6 –2021. – С. 7–7.

8. Бобров, Д. Хирургическое лечение молоткообразной деформации пальцев стоп (обзор литературы) / Д.С. Бобров, А.А. Шубкина, А. В. Лычагин [и

др.]. // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2019. – № 4 (74). – С. 272–282.

9. Карданов, А. Индивидуальная нехирургическая коррекция статических деформаций стоп с использованием новых технологий / А.А. Карданов, В.Г. Процко, М. П. Лукин [и др.] // Паллиативная медицина и реабилитация. – 2008. – № 1. – С. 39–42.

10. Карданов, А. О связи системной гипермобильности суставов и вальгусного отклонения первого пальца / А.А. Карданов, А.С. Карандин, А.В. Королев [и др.] [и др.]. // Травматология и ортопедия России. – 2015. – № 77 (3). – С. 5–11.

11. Карданов, А. Хирургическая коррекция комбинированной плосковальгусной установки стопы и вальгусного отклонения первого пальца стопы / А.А. Карданов, А.В. Королев, А.С. Карандин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2015. – № 36 (4). – С. 40–47.

12. Карданов, А. А. Оперативное лечение деформаций первого луча стопы: история и современные аспекты / А. А. Карданов, Л. Г. Макинян, М. П. Лукин // Медпрактика-М. – 2008. С.103

13. Киреев, В. С. Исследование мобильности первой плюсневой кости при хирургической коррекции деформаций переднего отдела стопы с использованием scarf / В. С. Киреев, В.Г. Процко, А.Г. Курманов// Вестник медицинского института «Реавиз». – 2019. – № 3 (19). – С. 126–130.

14. Кондрашова, И. А. Клинико-рентгенологические аспекты диагностики hallux valgus и поперечного плоскостопия / И.А. Кондрашова, Н.А. Давлетова, А.Н. Кондрашов // Травма. – 2013. – № 4 (14). – С. 81–86.

15. Мо, Ц. Анкеты и шкалы для оценки состояния стопы и голеностопного сустава / Ц. Мо, Н. В Ригин, Д. С. Бобров [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2016. – № 20 (4). – С. 5–11.

16. Прозоровский, Д. В. SCARF остеотомия при лечении hallux valgus / Д. В. Прозоровский, К. К. Романенко, Д. В. Ершов // Травма. – 2013. – № 2 (14). – С. 132–136.

17. Процко, В. Г. Выбор оптимального метода лечения вальгусной деформации первого пальца стопы: дис. … канд. мед. наук: 14.00.22 / Процко Виктор Геннадьевич; науч. рук. Н.В. Загородний; РУДН. – Москва, 2004

18. Рошаль, С. М. Рентгенометрические предпосылки развития поперечного плоскостопия / С. М. Рошаль, И. А. Обухов, А. С. Ермишина // Инновационная медицина Кубани. – 2020. – № 2 (18). – С. 35–40.

19. Сорокин, Е. П. Клинико-биомеханическая оценка эффективности различных методик оперативного лечения вальгусного отклонения первого пальца стопы: дис. … канд. мед. наук: 14.01.15 / Сорокин Евгений Петрович; науч. рук. Р.М. Тихилов; РосНИИТО им. Р.Р. Вредена. – Санкт-Петербург, 2013

20. Сорокин, Е. П. Клинико-экономическая эффективность применения медицинских изделий (ортопедических стелек) при консервативном лечении пациенток с hallux valgus / Е.П. Сорокин, А.Ю. Кочиш, В. А. Фомичев [и др.]// Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 2. – С. 116–116.

21. Терновой, С. К. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике плоскостопия взрослых / С.К. Терновой, Н.С. Серова, А.С. Беляев [и др.] // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2017. – № 1 (7). – С. 94 –100.

22. Федотов Ю.Н. Пат. 2 708 880 Российская Федерация, МПК A61B 17/56. Способ оперативного лечения пациентов с деформацией переднего отдела стопы. Ю.Н. Федотов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет"/ Ю.Н. Федотов, А.А. Акулаев, А.В. Филиппова, К.О. Турбин, К.И. Захаров, С.А. Маркин, К.А. Тищенков, О.А. Козлов, В.В. Егорова // – № 2018140531; заявл. 16.11.18; опубл. 11.12.19, Бюл. № 35.

23. Федотов Ю.Н. Пат. 190569 Российская Федерация, МПК A61B 17/15. Индивидуальный резекционный блок для выполнения остеотомии медиального

экзостоза головки первой плюсневой кости; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет"/ Ю.Н. Федотов, А.А. Акулаев, А.В. Филиппова, К.О. Турбин, К.И. Захаров, С.А. Маркин, К.А. Тищенков, О.А. Козлов, В.В. Егорова // – № 2018140534; заявл. 16.11.18; опубл. 03.07.19, Бюл. № 19.

24. Федотов Ю.Н. Пат. 190765 Российская Федерация, МПК A61B 17/56. Индивидуальный шаблон для перемещения остеотомированных фрагментов кости в заданное положение; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет"/ Ю.Н. Федотов, А.А. Акулаев, А.В. Филиппова, К.О. Турбин, К.И. Захаров, С.А. Маркин, К.А. Тищенков, О.А. Козлов, В.В. Егорова // – № 2018140535; заявл. 16.11.18; опубл. 11.07.19, Бюл. № 20.

25. Федотов Ю.Н. Пат. 191193 Российская Федерация, МПК A61B 17/15. Резекционный блок для выполнения l-образной остеотомии первой плюсневой кости; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет"/ Ю.Н. Федотов, А.А. Акулаев, К.О. Турбин, К.И. Захаров, С.А. Маркин, К.А. Тищенков, О.А. Козлов, В.В. Егорова // – № 2018140533; заявл. 16.11.18; опубл. 29.07.19, Бюл. № 22.

26. Хоминец, В. Алгоритм хирургического лечения и послеоперационной реабилитации больных с поперечным плоскостопием / В.В. Хоминец, О. В. Рикун, С.В. Гамолин [и др.]// Кафедра травматологии и ортопедии. – 2016. – № 4. – С. 20.

27. Шубкина, А. Минимально инвазивная техника против открытой хирургии при молоткообразной деформации второго пальца: сравнение результатов / А.А. Шубкина, А. В. Лычагин, Д. С. Бобров [и др.] // Гений ортопедии. – 2022. – № 4 (28). – С. 507–515.

28. Adam, S. P. Outcomes after Scarf Osteotomy for Treatment of Adult Hallux Valgus Deformity / S. P. Adam, S. P., S. C. Choung, Y. Gu [et al.]. // Clinical Orthopaedics and Related Research – 2010. – № 3 (469). – С. 854–859.

29. Aminian, A. Scarf osteotomy for hallux valgus deformity: an intermediate followup of clinical and radiographic outcomes / A. Aminian, A. Kelikian, T. Moen // Foot & ankle international. – 2006. – № 11 (27). – P. 883–886.

30. Armiger, R. S. Three-dimensional mechanical evaluation of joint contact pressure in 12 periacetabular osteotomy patients with 10-year follow-up / Armiger R. S. Armiger, M. Armand, K. Tallroth [et al.]// Acta Orthopaedica. – 2009. – № 2 (80). – P. 155–161.

31. Austin, D. W. A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed «V» displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus. /D. W. Austin, E. O. Leventen // Clinical orthopaedics and related research. – 1981. – № 157. – P. 25–30.

32. Baauw, M. The accuracy of positioning of a custom-made implant within a large acetabular defect at revision arthroplasty of the hip /, M. Baauw, Van G. G. Hellemondt, M. L. Van Hooff, [et al.]// The Bone & Joint Journal. – 2015. – № 6 (97-B). – P. 780–785.

33. Barg, A. Unfavorable Outcomes Following Surgical Treatment of Hallux Valgus Deformity /A. Barg, J. R. Harmer, A. P. Presson [et al.]// Journal of Bone and Joint Surgery. – 2018. – № 18 (100). – P. 1563–1573.

34. Barouk, L.S. Osteotomie Scarf du premier metatarsien /L. Barouk // Med Chir Pied. Barouk L.S. Osteotomie Scarf du premier metatarsien 1994. – P. 111–120.

35. Barouk, L.S. Scarf osteotomy of the first metatarsal in the treatment of hallux vulgus / L.S. Barouk // Foot diseases. – 1995. – № 1 (2). – P. 35–48.

36. Barouk, L. S. Scarf osteotomy for hallux valgus correction. Local anatomy, surgical technique, and combination with other forefoot procedures. / L.S. Barouk // Foot and ankle clinics. – 2000. – № 3 (5). – P. 525–58.

37. Bartolozzi, P. L’osteotomia distale percutanea nella chirurgia dell’alluce valgo /P. Bartolozzi // Timeo. – 2000. P. 80

38. Belloti, J. C. The malunion of distal radius fracture: Corrective osteotomy through planning with prototyping in 3D printing /J. C. Belloti, B. V. P. Alves, F. Faloppa [et al.]// Injury. 2021. (52). P. S44–S48.

39. Betts, R. Foot pressure studies in Freiberg's disease /R. Betts, D. Stanley, T. Smith // The Foot. – 1991. – № 1 (1). – P. 21–27.

40. Bia, A. Percutaneous Osteotomies in Hallux Valgus: A Systematic Review / A. Bia, F. Guerra-Pinto, B. S. Pereira [et al.] // The Journal of Foot and Ankle Surgery. 2018. № 1 (57). P. 123–130.

41. Blum, J. L. The Modified Mitchell Osteotomy-Bunionectomy: Indications and Technical Considerations /J. L. Blum // Foot & Ankle International. – 1994. – № 3 (15). – P. 103–106.

42. Bock, P. The Scarf Osteotomy: A Salvage Procedure for Recurrent Hallux Valgus in Selected Cases / P. Bock, U. Lanz, A. Kröner [et al.]// Clinical Orthopaedics and Related Research – 2010. – № 8 (468). – P. 2177–2187.

43. Bock, P. The Scarf Osteotomy with Minimally Invasive Lateral Release for Treatment of Hallux Valgus Deformity: Intermediate and Long-Term Results / P. Bock, R. Kluge, K. H. Kristen [et al.]// The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2015. – № 15 (97). – P. 1238–1245.

44. Boksh, K. A Comparative Study of Mini-Scarf Versus Standard Scarf Osteotomy for Hallux Valgus Correction /K. Boksh, S. Qasim, K. Khan [et al.]// The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2018. – № 5 (57). – P. 948–951.

45. Borrelli, A. Modified scarf bunionectomy: our experience in more than 1000 cases / A. Borrelli // J Foot Surg. – 1991. – T 30 – P. 609.

46. Bösch, P. Technik und erste Ergebnisse der subkutanen distalen Metatarsale-I-Osteotomie / P. Bösch, H. Markowski, V. Rannicher // Orthop Praxis. – 1990. – T 26. – P. 51–56.

47. Bösch, P. Hallux valgus correction by the method of Bösch: a new technique with a seven-to-ten-year follow-up. / P. Bösch, S. Wanke, R. Legenstein // Foot and ankle clinics. – 2000. – № 3 (5). – P. 485–98, v–vi.

48. Briggs, T. Mitchell's osteotomy using internal fixation and early mobilization / T. Briggs, P. Smith, T. McAuliffe // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1992. – № 1 (74-B). – P. 137–139.

49. Brown, G. A. Application of Computer-Generated Stereolithography and Interpositioning Template in Acetabular Fractures: A Report of Eight Cases / G. A. Brown, B. Milner, K. Firoozbakhsh // Journal of Orthopaedic Trauma. – 2002. – № 5 (16). – P. 347–352.

50. Bruns, N. 3D-Druck in der Unfallchirurgie / N. Bruns, C. Krettek// Der Unfallchirurg – 2019. – № 4 (122). – P. 270–277.

51. Buller, L. The Use of Patient-Specific Instrumentation Improves the Accuracy of Acetabular Component Placement / L. Buller, T. Smith, J. Bryan [et al.] // The Journal of Arthroplasty. – 2013. – № 4 (28). – P. 631–636.

52. Burutaran, J. Hallux valgus y cortedad anatomica del primer metatarsano (correction quinrusica) /J. Burutaran // Actual Med Chir Pied. – 1976. – T 13. – P. 261–266.

53. Calvo-Haro, J. A. Conceptual evolution of 3D printing in orthopedic surgery and traumatology: from "do it yourself" to "point of care manufacturing" / J. A. Calvo-Haro, J. Pascau, L. Mediavilla-Santos [et al.] // BMC Musculoskeletal Disorders. – 2021. – № 1 (22). – P. 360.

54. Campbell, B. Pilot Study of a 3-Dimensional Method for Analysis of Pronation of the First Metatarsal of Hallux Valgus Patients / B. Campbell, M. C. Miller, L. Williams [et al.] // Foot & Ankle International. – 2018. – № 12 (39). – P. 1449–1456.

55. Cavaignac, E. Evaluation of the accuracy of patient-specific cutting blocks for total knee arthroplasty: a meta-analysis / E. Cavaignac, R. Pailhe, G. Laumond [et al.] // International Orthopaedics. 2015. – № 8 (39). – P. 1541–1552.

56. Choi, J. H. Prospective study of the treatment of adult primary hallux valgus with scarf osteotomy and soft tissue realignment / J. H. Choi, J. R Zide., S. C. Coleman [et al.] // Foot and Ankle International. – 2013. – № 5 (34). – P. 684–690.

57. Chou, L. B. Biplanar Chevron Osteotomy /L. B. Chou, R. A. Mann, M. M. Casillas // Foot & Ankle International. – 1998. – № 9 (19). – P. 579–584.

58. Coetzee, J. C. Scarf osteotomy for hallux valgus repair: the dark side / J. C. Coetzee// Foot & ankle international. – 2003. – № 1 (24). – P. 29–33.

59. Coetzee, J. C. Surgical strategies: scarf osteotomy for hallux valgus / J. C. Coetzee, P. Rippstein // Foot & ankle international. – 2007. – № 4 (28). – P. 529–535.

60. Collan, L. The biomechanics of the first metatarsal bone in hallux valgus: a preliminary study utilizing a weight bearing extremity CT /L. Collan, J. A. Kankare, K. Mattila // Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons. – 2013. – № 3 (19). – P. 155–161.

61. Conti, M. S. Effect of the Modified Lapidus Procedure on Pronation of the First Ray in Hallux Valgus / M. S. Conti, J. F. Willett, J. H. Garfinkel [et al.] // Foot & Ankle International. – 2020. – № 2 (41). – P. 125–132.

62. Corless, J. R. A modification of the Mitchell procedure /J. R. Corless // J. Bone Joint Surg., B. –1976. – 58. – P. 138.

63. Corrigan, J. P. Effect of Heel Height on Forefoot Loading / J. P. Corrigan, D. P. Moore // Foot & Ankle. – 1993. – № 3 (14). – P. 148–152.

64. Coughlin, M. Proximal first metatarsal osteotomy / M. Coughlin // The foot and ankle. Coughlin M. Proximal first metatarsal osteotomy 2002. P. 759-777

65. Coughlin, M. J. Juvenile Hallux Valgus: Etiology and Treatment / M. J. Coughlin // Foot & Ankle International. – 1995. – № 11 (16). – P. 682–697.

66. Coughlin, M. J. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment / M. J. Coughlin, C. P. Jones // Foot & ankle international. – 2007. – № 7 (28). – P. 759–777.

67. Coughlin, M. J. Angular Measurements in the Evaluation of Hallux Valgus Deformities: A Report of the Ad Hoc Committee of the American Orthopædic Foot & Ankle Society on Angular Measurements / M. J. Coughlin, C. L. Saltzman, J. A. Nunley // Foot & Ankle International. – 2002. – № 1 (23). – P. 68–74.

68. Crevoisier, X. The scarf osteotomy for the treatment of hallux valgus deformity: a review of 84 cases /X. Crevoisier, E. Mouhsine, V. Ortolano [et al.] // Foot & ankle international. – 2001. – № 12 (22). – P. 970–976.

69. Cruz, E. P. Comparison between Simple Radiographic and Computed Tomographic Three-Dimensional Reconstruction for Evaluation of the Distal Metatarsal Articular Angle / Cruz E. P., Wagner F. V., C. Henning [et al.] // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2017. – № 3 (56). – P. 505–509.

70. Cuesta-Vargas, A. The psychometric properties of the Spanish version of the Foot Health Status Questionnaire / A. Cuesta-Vargas, P. Bennett, A. M. Jimenez-Cebrian [et al.] // Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation. – 2013. – № 7 (22). – P. 1739–1743.

71. Dalrymple, N. C. Introduction to the Language of Three-dimensional Imaging with Multidetector CT / N. C. Dalrymple, S. R. Prasad, M. W. Freckleton [et al.] // RadioGraphics. 2005. – № 5 (25). – P. 1409–1428.

72. Dance, D. R. Diagnostic radiology physics / D. R. Dance, S. Christofides, A. D. A. Maidment [et al.] //International Atomic Energy Agency. – 2014. – T. 299. P.710

73. Dawson, J. A patient-based questionnaire to assess outcomes of foot surgery: validation in the context of surgery for hallux valgus / J. Dawson, J. Coffey, Doll H. Doll [et al.]// Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation. - 2006. - № 7 (15). - P. 1211–1222.

74. Dawson, J. Responsiveness and minimally important change for the Manchester-Oxford foot questionnaire (MOXFQ) compared with AOFAS and SF-36 assessments following surgery for hallux valgus / J. Dawson, H. Doll, J. Coffey [et al.]// Osteoarthritis and cartilage. –2007. – № 8 (15). – P. 918–931.

75. Dayton, P Is Our Current Paradigm for Evaluation and Management of the Bunion Deformity Flawed? A Discussion of Procedure Philosophy Relative to Anatomy / P. Dayton, M. Kauwe, M. Feilmeier // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2015. – № 1 (54). – P. 102–111.

76. Deenik, A. R. Hallux valgus angle as main predictor for correction of hallux valgus / A. R. Deenik, E. de Visser, J. W. K. Louwerens [et al.]//BMC musculoskeletal disorders. – 2008. – T. 9. – №. 1. – C. 1-6.

77. Dhukaram, V. Mitchell osteotomy for hallux valgus–intermediate follow-up with pedobarographic findings/ V. Dhukaram, M. G. Hullin //Orthopaedic Proceedings.

– The British Editorial Society of Bone & Joint Surgery, 2006. – Т. 88. – №. SUPP_I. – С. 19-20.

78. Dietze, A. First ray instability in hallux valgus deformity: a radiokinematic and pedobarographic analysis / A. Dietze, U. Bahlke, H. Martin [et al.] // Foot & ankle international. – 2013. – № 1 (34). – P. 124–130.

79. Digiovanni, C. Isolated gastrocnemius tightness / C. W. DiGiovanni, Kuo R., N. Tejwani [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume. – 2002. – № 6 (84). – P. 962–970.

80. Domínguez-Maldonado, G. Normal Values of Metatarsal Parabola Arch in Male and Female Feet / G. Domínguez-Maldonado, P. V. Munuera-Martinez, J. M. Castillo-López [et al.]// The Scientific World Journal. – 2014 – P. 1–5.

81. Doty, J. F. Hallux valgus and hypermobility of the first ray: facts and fiction / J. F. Doty, M. J. Coughlin // International orthopaedics. – 2013. – № 9 (37). – P. 1655–1660.

82. Doty, J. F. Hallux Valgus Deformity and Treatment: A Three-Dimensional Approach / J. F. Doty, W. T. Harris // Foot and ankle clinics. – 2018. – № 2 (23). – P. 271–280.

83. Easley M. E. Prospective, Randomized Comparison of Proximal Crescentic and Proximal Chevron Osteotomies for Correction of Hallux Valgus Deformity / M. E. Easley, G. M. Kiebzak, W. H. Davis [et al.]// Foot & Ankle International. – 1996. – № 6 (17). – P. 307–316.

84. Easley M. E. Current Concepts Review: Hallux Valgus Part 1: Pathomechanics, Clinical Assessment, and Nonoperative Management / M. E. Easley, H.-J. Trnka // Foot & Ankle International. – 2007. – № 5 (28). – P. 654–659.

85. Ellington J. K. The Use of the Lapidus Procedure for Recurrent Hallux Valgus / J. K. Ellington, M. S. Myerson, J. C. Coetzee [et al.] // Foot & Ankle International. – 2011. – № 7 (32). – P. 674–680.

86. Espinosa N. Tarsometatarsal Arthrodesis for Management of Unstable First Ray and Failed Bunion Surgery / N. Espinosa, S. H. Wirth // Foot and Ankle Clinics. – 2011. – № 1 (16). – P. 21–34.

87. Fan H. Implantation of customized 3-D printed titanium prosthesis in limb salvage surgery: a case series and review of the literature / H. Fan, J. Fu, X. Li [et al.] // World Journal of Surgical Oncology. – 2015. – № 1 (13). – P. 308.

88. Ferri M. Weightbearing CT scan of severe flexible pes planus deformities / M. Ferri, A. V. Scharfenberger, G. Goplen [et al.] // Foot & ankle international. – 2008. – № 2 (29). – P. 199–204.

89. Foran I. M. Radiographic Impact of Lapidus, Proximal Lateral Closing Wedge Osteotomy, and Suture Button Procedures on First Ray Length and Dorsiflexion for Hallux Valgus/ I. M. Foran, N. Mehraban, S. K. Jacobsen [et al.] // Foot Ankle Int. 2020. T. 41. № 8. P. 964–971.

90. Frumberg D. B. Rotational Deformity of the First Ray Precludes Accurate Distal Metatarsal Articular Angle Measurement in Hallux Valgus / D. B. Frumberg, Q. Naziri, R. Pivec[et al.] // Journal of Long-Term Effects of Medical Implants. – 2018. – № 1 (28). – P. 41–46.

91. Fuhrmann R. A. Mid-term results of Scarf osteotomy in hallux valgus / R. A. Fuhrmann, H. Zollinger-Kies, H.-P. Kundert // International Orthopaedics. – 2010. – № 7 (34). – P. 981–989.

92. Gadia A. Emergence of Three-Dimensional Printing Technology and Its Utility in Spine Surgery / A. Gadia, K. Shah, A. Nene // Asian spine journal. – 2018. – № 2 (12). – P. 365–371.

93. Geng X. Mobility of the first metatarsal-cuneiform joint in patients with and without hallux valgus: in vivo three-dimensional analysis using computerized tomography scan / X. Geng, C. Wang, X. Ma [et al.]// Journal of orthopaedic surgery and research. –2015. – № 1 (10). P.1-7.

94. George H. L. Outcome of the scarf osteotomy in adolescent hallux valgus / H. L. George, J. Casaletto, P. N. Unnikrishnan [et al.]// Journal of children's orthopaedics. – 2009. – № 3 (3). – P. 185–190.

95. Glover J. P. Early Results of the Mau Osteotomy for Correction of Moderate to Severe Hallux Valgus: A Review of 24 Cases / J. P. Glover, C. F. Hyer, G. C. Berlet [et al.]// The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2008. – № 3 (47). – P. 237–242.

96. Glynn M. The Mitchell distal metatarsal osteotomy for hallux valgus / M. Glynn, J. Dunlop, D. Fitzpatrick // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1980. –№ 2 (62-B). – P. 188–191.

97. Gouin, F. Computer-Assisted Planning and Patient-Specific Instruments for Bone Tumor Resection within the Pelvis: A Series of 11 Patients / F. Gouin, L. Paul, G. A. Odri [et al.]// Sarcoma. – 2014.– P. 1–9.

98. Grace, D. A comparison of Wilson and Hohmann osteotomies in the treatment of hallux valgus / D. Grace, J. Hughes, L. Klenerman // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1988. – № 2 (70-B). – P. 236–241.

99. Gribbin, C. K. Relationship of Radiographic and Clinical Parameters With Hallux Valgus and Second Ray Pathology / C. K. Gribbin, S. J. Ellis, J. Nguyen [et al.] // Foot & Ankle International. –2017. – № 1 (38). – P. 14–19.

100. Hale, S. Reliability and sensitivity of the Foot and Ankle Disability Index in subjects with chronic ankle instability / S. Hale, J. Hertel // Journal of athletic training. – 2005. – № (1) (40). – P. 35–40.

101. Hammel, E. Complications of first ray osteotomies: a consecutive series of 475 feet with first metatarsal Scarf osteotomy and first phalanx osteotomy / E. Hammel, M. L. Abi Chala, T. Wagner // Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur. – 2007. – № 7 (93). – P. 710–719.

102. Hananouchi T. Tailor-made Surgical Guide Reduces Incidence of Outliers of Cup Placement / T. Hananouchi, M. Saito, T. Koyama [et al.] // Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2010. – № 4 (468). – P. 1088–1095.

103. Hardy, R. H. Observations on hallux valgus / Hardy R. H., Clapham J. C. R./ R. H. Hardy // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1951. – № 3 (33-B). – P. 376–391.

104. Harper M. C. Correction of metatarsus primus varus with the Chevron metatarsal osteotomy. An analysis of corrective factors. / M. C. Harper // Clinical orthopaedics and related research. – 1989. – № 243. – P. 180–3.

105. Hawkins F. B. Correction of hallux valgus by metatarsal osteotomy / F. B. Hawkins, C. L. Mitchell, D. W. Hedrick // JBJS. – 1945. – № 3 (27). – P. 387–394.

106. Heyes G. J. Pes Planus Deformity and Its Association With Hallux Valgus Recurrence Following Scarf Osteotomy / G. J. Heyes, A. R. Vosoughi , L. Weigelt [et al.] // Foot Ankle Int. 2020. T. 41. № 10. C. 1212–1218.

107. Ho, B. Hallux rigidus / B. Ho, J. Baumhauer // EFORT Open Reviews. – 2017. – № 1 (2). – P. 13–20.

108. Hohmann G. Der Hallux valgus und die übrigen Zehenverkrümmungen / G. Hohmann //Ergebnisse der Chirurgie und Orthopädie. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1925. – C. 308-376.

109. Huang P.-J. Radiographic Evaluation of Minimally Invasive Distal Metatarsal Osteotomy for Hallux Valgus / P. J. Huang, Y. C. Lin, Y. C. Fu [et al.] // Foot & Ankle International. – 2011. – № 5 (32). – P. 503–507.

110. Huerta J. The Weil osteotomy: A comprehensive review / J. Huerta, C. Lorente, // Revista Española de Podología. – 2017. – № 2 (28). – P. e38–e51.

111. Hueter C. Klinik der Gelenkkrankheiten mit Einschluss der Orthopädie v. 2, 1871. – Vogel, 1871. – T. 2. P.840

112. Hurson C. Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures / C. Hurson, A. Tansey, B. O'donnchadha [et al.] // Injury. – 2007. – № 10 (38). – P. 1158–1162.

113. Iliou K. Correlation of the Hallux Sesamoids' Orientation with Various Anatomical Parameters in Patients with Hallux Valgus Deformity / K. Iliou, G. K. Paraskevas, P. Kanavaros [et al.] // Cureus. – 2019. – № 5 (11):e4643. doi: 10.7759/cureus

114. Jastifer J. R. Comparison of radiographic and anatomic distal metatarsal articular angle in cadaver feet / J. R. Jastifer, M. J. Coughlin, S. Schutt [et al.] // Foot & ankle international. – 2014. – № 4 (35). – P. 389–393.

115. Jentzsch T. The influence of the number of screws and additional surgical procedures on outcome in hallux valgus treatment / T. Jentzsch, N. Renner, R. Niehaus [et al.] // Journal of orthopaedic surgery and research. – 2018. – № 1 (13). – P. 99.

116. Jeuken, R. M. Long-term Follow-up of a Randomized Controlled Trial Comparing Scarf to Chevron Osteotomy in Hallux Valgus Correction / R. M. Jeuken, M.

G. Schotanus, N. P. Kort [et al.] // Foot & ankle international. – 2016. – № 7 (37). – P. 687–695.

117. John, S. Scarf osteotomy for the correction of adolescent hallux valgus / S. John, L. Weil Jr, L. S. Weil Sr [et al.] // Foot & ankle specialist. – 2010. – № 1 (3). – P. 10–14.

118. Johnson, K. A. Hallux valgus due to cuneiform-metatarsal instability. / K. A. Johnson, T. A. Kile // Journal of the Southern Orthopaedic Association. – 1994. – № 4 (3). – P. 273–82.

119. Jones, G. G. 3D printing and high tibial osteotomy / G. G. Jones, M. Jaere, S. Clarke [et al.] // EFORT Open Reviews. – 2018. – № 5 (3). – P. 254–259.

120. Jones, S. Scarf osteotomy for hallux valgus / S. Jones, Al Hussainy H. A., Ali F. [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 2004. – № 6 (86-B). – P. 830–836.

121. Kakwani, R. Clinical Rating Systems for the Ankle-Hindfoot, Midfoot, Hallux, and Lesser Toes / R. Kakwani, M. Siddique // Classic Papers in Orthopaedics. – 2014. – P. 217–219.

122. Karry, L. K.-L.Percutaneous Chevron Osteotomy in Treating Hallux Valgus: Hong Kong Experience and Mid-Term Results / L. K.-L. Karry, K. Siu-Wah, C. Yuen-Hon // Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation. – 2015. – № 1 (19). – P. 25–30.

123. Kaufmann, G. Outcomes after scarf osteotomy with and without Akin osteotomy a retrospective comparative study / G. Kaufmann, M. Hofmann, H. Ulmer [et al.] // Journal of orthopaedic surgery and research. – 2019. – № 1 (14).P. 1-9.

124. Kayiaros, S. Correction of metatarsus primus varus associated with hallux valgus deformity using the arthrex mini tightrope: a report of 44 cases / S. Kayiaros, B. D. Blankenhorn, J. Dehaven [et al.] // Foot & ankle specialist. – 2011. – № 4 (4). – P. 212–217.

125. Kelikian, A. Sarrafian’s Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional / A. Kelikian// – 2012.P.757.

126. Kemp, T. J. Fracture of the Second Metatarsal Following Suture Button Fixation Device in the Correction of Hallux Valgus / T. J. Kemp, C. B. Hirose, M. J. Coughlin // Foot & Ankle International. – 2010. – № 8 (31). – P. 712–716.

127. Kerr, H. L. Scarf-Akin osteotomy correction for hallux valgus: short-term results from a district general hospital / H. L. Kerr, R. Jackson, P. Kothari // The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2010. – № 1 (49). – P. 16–19.

128. Kilmartin, T. E. Combined rotation scarf and Akin osteotomies for hallux valgus: a patient focussed 9 year follow up of 50 patients / T. E. Kilmartin, C. O'Kane // Journal of foot and ankle research. – 2010. – № 1 (3).P. 1-12.

129. Kim, Y. A New Measure of Tibial Sesamoid Position in Hallux Valgus in Relation to the Coronal Rotation of the First Metatarsal in CT Scans / Y. Kim, J. S. Kim, K. W. Young [et al.] // Foot & Ankle International. – 2015. – № 8 (36). – P. 944–952.

130. Kitaoka, H. B. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes / H. B. Kitaoka, I. J. Alexander, R. S. Adelaar [et al.] // Foot & ankle international. – 1994. – № 7 (15). – P. 349–353.

131. Klaue, K. Clinical, Quantitative Assessment of First Tarsometatarsal Mobility in the Sagittal Plane and Its Relation to Hallux Valgus Deformity / K. Klaue, S. T. Hansen, A. C. Masquelet // Foot & Ankle International. – 1994. – № 1 (15). – P. 9–13.

132. Kleinberg, S. The operative cure of hallux valgus and bunions / S. Kleinberg // The American Journal of Surgery. – 1932. – № 1 (15). – P. 75–81.

133. Kramer, J. Die Kramer-Osteotomie zur Behandlung des Hallux valgus und des Digitus quintus varus / J. Kramer // Operative Orthopadie und Traumatologie. – 1990. – № 1 (2). – P. 29–38.

134. Kristen, K. H. The SCARF osteotomy for the correction of hallux valgus deformities / K. H. Kristen, C. Berger, S. Stelzig [et al.] // Foot & ankle international. – 2002. – № 3 (23). – P. 221–229.

135. Kunz, M. The influence of osteophyte depiction in CT for patient-specific guided hip resurfacing procedures / M. Kunz, S. Balaketheeswaran, R. E. Ellis [et al.] //

International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2015. – № 6 (10). – P. 717–726.

136. Lafon Y. Intraoperative Three-Dimensional Correction During Rod Rotation Technique / Y. Lafon, V. Lafage, J. Dubousset [et al.] // – Spine. – 2009. – № 5 (34). – P. 512–519.

137. Lai M. C. Clinical and Radiological Outcomes Comparing Percutaneous Chevron-Akin Osteotomies vs Open Scarf-Akin Osteotomies for Hallux Valgus / M. C. Lai, I. S. Rikhraj, Y. L. Woo [et al.] // Foot & ankle international. – 2018. – № 3 (39). – P. 311–317.

138. Landorf K. B. An evaluation of two foot-specific, health-related quality-of-life measuring instruments / K. B. Landorf, A. M. Keenan // Foot & ankle international. – 2002. – № 6 (23). – P. 538–546.

139. Lapidus P. W. A quarter of a century of experience with the operative correction of the metatarsus varus primus in hallux valgus. / P. W. Lapidus // Bulletin of the Hospital for Joint Diseases. – 1956. – № 2 (17). – P. 404–21.

140. LaPorta G. A. The Mechanical Axis of the First Ray: A Radiographic Assessment in Hallux Abducto Valgus Evaluation / G. A. LaPorta, E. M Nasser., J. L. Mulhern [et al.] // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2016. – № 1 (55). – P. 28–34.

141. Law G. W. Effect of severity of deformity on clinical outcomes of scarf osteotomies /G.W. Law G. W., K.S. Tay, J.W.S. Lim [et al.] //Foot & Ankle International. – 2020. – T. 41. – №. 6. – P. 705-713.

142. Lechler P. Clinical outcome after Chevron-Akin double osteotomy versus isolated Chevron procedure: a prospective matched group analysis / P. Lechler, C. Feldmann, F. X. Köck [et al.] // Archives of orthopaedic and trauma surgery. – 2012. – № 1 (132). – P. 9–13.

143. Lee K. T. Deceptions in Hallux Valgus / K. T. Lee, Y. U. Park, H. Jegal [et al.] // Foot and Ankle Clinics. – 2014. – № 3 (19). – P. 361–370.

144. Lee, M. Hallux Valgus Correction Comparing Percutaneous Chevron/Akin (PECA) and Open Scarf/Akin Osteotomies / M. Lee, J. Walsh, M. M. Smith [et al.] // Foot & ankle international. – 2017. – № 8 (38). – P. 838–846.

145. Leeuwen, J. A. V. Comparison of planned and achieved implant position in total knee arthroplasty with patient-specific positioning guides / J. A. V. Leeuwen, B. Grøgaard, L. Nordsletten [et al.]// Acta Orthopaedica. – 2015. – № 2 (86). – P. 201–207.

146. Lenz, C. G. Scarf osteotomy for hallux valgus deformity: Radiological outcome, metatarsal length and early complications in 118 feet / C. G. Lenz, R. Niehaus, I Knych., K Eid. [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2021. – № 1 (27). – P. 20–24.

147. Lepistö J. Periacetabular osteotomy in adult hip dysplasia - developing a computer aided real-time biomechanical guiding system (BGS). / J. Lepistö, M. Armand, R. S. Armiger // Suomen ortopedia ja traumatologia = Ortopedi och traumatologi i Finland = Finnish journal of orthopaedics and traumatology. – 2008. – № 2 (31). – P. 186–190.

148. Lim P. K. Use of 3D printed models in resident education for the classification of acetabulum fractures / P.K. Lim, G. S. Stephenson, T. W. Keown [et al.] //Journal of surgical education. – 2018. – Т. 75. – №. 6. – С. 1679-1684.

149. Lipscombe S. Scarf osteotomy for the correction of hallux valgus: midterm clinical outcome / S. Lipscombe, A. Molloy, S. Sirikonda [et al.] // The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2008. – № 4 (47). – P. 273–277.

150. Li X. The excessive length of first ray as a risk factor for hallux valgus recurrence / X. Li, M. Guo, Y. Zhu [et al.] // Plos one. – 2018. –№ 10 (13). P. e0205560-e0205560.

151. Lorei T. J. Pedographic, clinical, and functional outcome after scarf osteotomy / T. J. Lorei, C. Kinast, H. Klärner [et al.] // Clinical orthopaedics and related research. – 2006. – № 451. – P. 161–166.

152. Lucas y Hernandez J. Treatment of moderate hallux valgus by percutaneous, extra-articular reverse-L Chevron (PERC) osteotomy / J. Lucas y Hernandez, P. Golanó,

S. Roshan-Zamir [et al.] // The Bone & Joint Journal. – 2016. – № 3 (98-B). – P. 365–373.

153. MacDonald A. Role of Patient-Reported Outcome Measures on Predicting Outcome of Bunion Surgery / A. MacDonald, J. Houck, J.F. Baumhauer // Foot Ankle Int. 2020. Т. 41. № 2. С. 133–139.

154. Mac-Thiong J.-M. Evaluation of a transpedicular drill guide for pedicle screw placement in the thoracic spine / J. M. Mac-Thiong, H. Labelle, M. Rooze [et al.] // European Spine Journal. – 2003. – № 5 (12). – P. 542–547.

155. Magnan B. Percutaneous Distal Metatarsal Osteotomy for Correction of Hallux Valgus / B. Magnan// The Journal of Bone and Joint Surgery (American). – 2005. – № 6 (87). – P. 1191.

156. Magnan B. Minimally invasive distal first metatarsal osteotomy can be an option for recurrent hallux valgus / B. Magnan, S. Negri, T. Maluta [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2019. – № 3 (25). – P. 332–339.

157. Maguire W. The Lapidus procedure for hallux valgus / W. Maguire // J Bone Joint Surg Br. – 1973. – (55). – P. 221.

158. Malviya A. Laing P. Scarf osteotomy for hallux valgus—is an Akin osteotomy necessary? / A. Malviya, N. Makwana, P. Laing // Foot and Ankle Surgery. – 2007. – № 4 (13). – P. 177–181.

159. Mann R. A., Donatto K. C. The Chevron Osteotomy: A Clinical and Radiographic Analysis / R. A. Mann // Foot & Ankle International. – 1997. – № 5 (18). – P. 255–261.

160. Martelli N. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review / N. Martelli, C. Serrano, H. van den Brink [et al.] // Surgery. – 2016. – № 6 (159). – P. 1485–1500.

161. Matthews M. et al. Correlation of preoperative radiographic severity with disability and symptom severity in hallux valgus / M. Matthews, E. Klein, A. Acciani [et al.] //Foot & ankle international. – 2019. – Т. 40. – №. 8. – С. 923-928.

162. McDonald E. Driving After Hallux Valgus Surgery / E. McDonald, R. Shakked, J. Daniel [et al.] // Foot & Ankle International. – 2017. – № 9 (38). – P. 982–986.

163. Meehan R. E. Adult acquired flat foot deformity: clinical and radiographic examination / R. E. Meehan, M. Brage // Foot and ankle clinics. – 2003. – № 3 (8). – P. 431–452.

164. Menz H. B. Epidemiology of Shoe Wearing Patterns Over Time in Older Women: Associations With Foot Pain and Hallux Valgus / H. B. Menz, E. Roddy, M. Marshall [et al.] // The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. – 2016. – № 12 (71). – P. 1682–1687.

165. Merkel K. D. Mitchell Osteotomy for Hallux Valgus: Long-term Follow-up and Gait Analysis / K. D. Merkel, Y. Katoh, Jr E. W. Johnson [et al.] // Foot & Ankle. – 1983. – № 4 (3). – P. 189–196.

166. Meyr A. J. The etiology of hallux abductovalgus described in six pieces / A. J. Meyr //Evidence-Based Bunion Surgery. – Springer, Cham, 2018. – C. 23-41.

167. Miller J. W. Acquired hallux varus: a preventable and correctable disorder. / J. W. Miller // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 1975. – № 2 (57). – P. 183–8.

168. Mitchell C. L. Osteotomy-bunionectomy for hallux valgus. / C. L. Mitchell, J. L. Fleming, R. Allen [et al.] // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 1958. – № 1 (40-A). – P. 41–58; discussion 59-60.

169. Mitchell L. A. A Chevron-Akin Double Osteotomy for Correction of Hallux Valgus / L. A. Mitchell, D. E. Baxter // Foot & Ankle. – 1991. – № 1 (12). – P. 7–14.

170. Mitsouras D. 3D printing technologies / Mitsouras D. Mitsouras, P. C. Liacouras //3D printing in medicine. – Springer, Cham, 2017. – C. 5-22.

171. Miyake J. Distal Radius Osteotomy with Volar Locking Plates Based on Computer Simulation / J. Miyake., T. Murase, H. Moritomo [et al.] // Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2011. – № 6 (469). – P. 1766–1773.

172. Mizuno K. Treatment of Hallux Valgus by Oblique Osteotomy of the First Metatarsal / Mizuno K., Hashimura M., Kimura M. [et al.] // Foot & Ankle. – 1992. – № 8 (13). – P. 447–452.

173. Mohan A. Virtual reality--a «play station» of the future. A review of virtual reality and orthopaedics. / A. Mohan, M. Proctor// Acta orthopaedica Belgica. – 2006. – № 6 (72). – P. 659–63.

174. Molloy A. Scarf osteotomy / A. Molloy, J. Widnall // Foot and ankle clinics. – 2014. – № 2 (19). – P. 165–180.

175. Munteanu S. E. Hallux Valgus, By Nature or Nurture? A Twin Study / S. E. Munteanu, H. B. Menz, J. D. Wark [et al.] // Arthritis Care & Research. – 2017. – № 9 (69). – P. 1421–1428.

176. Munuera P. Length of the first metatarsal and hallux in hallux valgus in the initial stage / P. V. Munuera, J. Polo, J. Rebollo //International Orthopaedics. – 2008. – Т. 32. – №. 4. – С. 489-495.

177. Murawski C. D., Egan C. J., Kennedy J. G. A rotational scarf osteotomy decreases troughing when treating hallux valgus / C. D. Murawski, C. J. Egan, J. G. Kennedy // Clinical orthopaedics and related research. – 2011. – № 3 (469). – P. 847–853.

178. Neal M. L. Current progress in patient-specific modeling / M. L. Neal, R. Kerckhoffs // Briefings in Bioinformatics. – 2010. – № 1 (11). – P. 111–126.

179. Nery C. Hallux Valgus in Males—Part 1 / C. Nery, M. J. Coughlin, D. Baumfeld [et al.] // Foot & Ankle International. – 2013. – № 5 (34). – P. 629–635.

180. Newman A. S. A biomechanical comparison of the Z step-cut and basilar crescentic osteotomies of the first metatarsal / A. S. Newman, J. P. Negrine, M. Zecovic [et al.]// Foot & ankle international. – 2000. – № 7 (21). – P. 584–587.

181. Ng V. Y. Improved Accuracy of Alignment With Patient-specific Positioning Guides Compared With Manual Instrumentation in TKA / V. Y. Ng, J. H. DeClaire, K. R. Berend [et al.] // Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2012. – № 1 (470). – P. 99–107.

182. Niikura T. Tactile Surgical Navigation System for Complex Acetabular Fracture Surgery / T. Niikura, M. Sugimoto, S. Y. Lee [et al.] // Orthopedics. – 2014. – № 4 (37). – P. 237–242.

183. Nix S. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis / S. Nix, M. Smith, B. Vicenzino // Journal of foot and ankle research. – 2010. – № 1 (3).P. C. 1-9.

184. Oh I. S. Clinical and Radiological Results after Modified Distal Metatarsal Osteotomy for Hallux Valgus / R. Okuda, M. Kinoshita, T. Yasuda [et al.] // Foot & Ankle International. – 2008. – № 5 (29). – P. 473–477.

185. Paley D. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. / D. Paley, J. E. Herzenberg, K. Tetsworth [et al.] // The Orthopedic clinics of North America. – 1994. – № 3 (25). – P. 425–65.

186. Peabody C. The surgical cure of hallux valgus / C. Peabody // JBJS. – 1931. – № 2 (13). – P. 273–282.

187. Perera A. M. The pathogenesis of hallux valgus / A. M. Perera, L. Mason, M. M. Stephens // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2011. – № 17 (93). – P. 1650–1661.

188. Perugia D. The scarf osteotomy for severe hallux valgus / D. Perugia, A. Basile, A. Gensini [et al.] // International orthopaedics. – 2003. – № 2 (27). – P. 103–106.

189. Pinsker E. AOFAS position statement regarding the future of the AOFAS Clinical Rating Systems / E. Pinsker, T. R. Daniels // Foot & ankle international. – 2011. – № 9 (32). – P. 841–842.

190. Piqué-Vidal P. Hallux Valgus Inheritance: Pedigree Research in 350 Patients With Bunion Deformity / P. Piqué-Vidal, M. T. Solé, J. Antich // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2007. – № 3 (46). – P. 149–154.

191. Piqué-Vidal C. A geometric analysis of hallux valgus: correlation with clinical assessment of severity / C. Piqué-Vidal, J. Vila // Journal of foot and ankle research. – 2009. – № 1 (2). P. 1-8.

192. Raikin S. M. Recurrence of hallux valgus: a review / S. M. Raikin, A. G. Miller, J. Daniel // Foot and ankle clinics. – 2014. – № 2 (19). – P. 259–274.

193. Ray J. J. Hallux Valgus / J.J. Ray, A.J. Friedmann, A.E. Hanselman [et al.] // Foot & Ankle Orthopaedics. – 2019. – № 2 (4). P. 537-544.

194. Rengier F. 3D printing based on imaging data: review of medical applications / F. Rengier, A. Mehndiratta, H. Von Tengg-Kobligk [et al.] // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2010. – № 4 (5). – P. 335–341.

195. Reverdin J. De la deviation en dehors du gros orl (hallux valgus) et son traitement chirurgical / J. Reverdin// – 1881. – 408–412 c.

196. Richter, M. A new foot and ankle outcome score: questionnaire based, subjective, visual-analogue-scale, validated and computerized / M. Richter, S. Zech, J. Geerling, J. [et al.] // Foot and Ankle. 2006. – № 4 (13). – P. 191–199.

197. Roling, B. A Biomechanics of the first ray. Part IV: The effect of selected medial column arthrodeses. A three-dimensional kinematic analysis in a cadaver model / B.A. Roling, J.C. Christensen, C. H. Johnson // The Journal of Foot and Ankle Surgery. 2002. – № 5 (41). – P. 278–285.

198. Saltzman C. L. et al. Reliability of standard foot radiographic measurements / C. L. Saltzman, E. A. Brandser, K. S. Berbaum [et al.] //Foot & ankle international. – 1994. – T. 15. – №. 12. – P. 661-665.

199. Saro, C. Quality-of-life outcome after hallux valgus surgery / C. Saro, I. Jensen, U. Lindgren [et al.] // Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation. – 2007. – № 5 (16). – P. 731–738.

200. Schemitsch, E.Wilson’s osteotomy for the treatment of hallux valgus. / E. Schemitsch, G. Horne // Clinical orthopaedics and related research. – 1989. – № 240. – P. 221–5.

201. Schneider, W. Normative data for the American Orthopedic Foot and Ankle Society ankle-hindfoot, midfoot, hallux and lesser toes clinical rating system / W. Schneider, S. Jurenitsch // International Orthopaedics – 2015. – № 2 (40). – P. 301–306.

202. Schoen, N. S. Z-Bunionectomy: Retrospective long-term study / N. S. Schoen, K. Zygmunt, C. Gudas // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 1996. – № 4 (35). – P. 312–317.

203. Schuh, R. Metatarsalgia: distal metatarsal osteotomies / R. Schuh, H. J. Trnka // Foot and ankle clinics. – 2011. – № 4 (16). – P. 583–595.

204. Scott, G. Age-related differences in foot structure and function / G. Scott, H. B. Menz, L. Newcombe // Gait & Posture. – 2007. – № 1 (26). – P. 68–75.

205. Shibuya, N. Mobility of the First Ray in Patients With or Without Hallux Valgus Deformity: Systematic Review and Meta-Analysis / N. Shibuya, T. S. Roukis, D. C Jupiter. // The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2017. – № 5 (56). – P. 1070–1075.

206. Skoták, M. Scarf osteotomy for the treatment of forefoot deformity. / M. Skoták, J. Běhounek // Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca. – 2006. – № 1 (73). – P. 18–22.

207. Smith, B. W. The first metatarsocuneiform joint, hypermobility, and hallux valgus: what does it all mean? / B. W. Smith, M. J. Coughlin // Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons. – 2008. – № 3 (14). – P. 138–141.

208. Smith, S. E. Scarf versus chevron osteotomy for the correction of 1-2 intermetatarsal angle in hallux valgus: a systematic review and meta-analysis / S. E. Smith, K. B. Landorf, P. A. Butterworth [et al.]// The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2012. – № 4 (51). – P. 437–444.

209. Sobrón, F. B. Technique tip: 3D printing surgical guide for pes cavus midfoot osteotomy / F. B. Sobrón, A. Dos Santos-Vaquinhas, B. Alonso [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2021. P. 371-377.

210. Starosolski, Z. A. Application of 3-D printing (rapid prototyping) for creating physical models of pediatric orthopedic disorders / Z. A. Starosolski, J. H. Kan, S. D. Rosenfeld [et al.]// Pediatric Radiology. 2014. – № 2 (44). – P. 216–221.

211. Stienstra, J. J. Large displacement distal chevron osteotomy for the correction of hallux valgus deformity / J. J. Stienstra, J. A. Lee, D. T. Nakadate // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2002. – № 4 (41). – P. 213–220.

212. Strydom, A. A radiographic analysis of the contribution of hallux valgus interphalangeus to the total valgus deformity of the hallux /A. Strydom, N. P. Saragas, P. N. F. Ferrao // Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons. – 2017. – № 1 (23). – P. 27–31.

213. Sutherland J. M. Relationship of Duration of Wait for Surgery and Postoperative Patient-Reported Outcomes for Hallux Valgus Surgery / J. M. Sutherland, K. Wing, A. Younger [et al.]// Foot Ankle Int. 2019. Т. 40. № 3. С. 259–267.

214. Swanton, E. How Do I Use the Scarf Osteotomy to Rotate the Metatarsal and Correct the Deformity in Three Dimensions? / E. Swanton, L. Mason, A. Molloy // Foot and Ankle Clinics. – 2018. – № 2 (23). – P. 239–246.

215. Szaboky, G. T., Raghaven V. C. Modification of Mitchell's Lateral Displacement Angulation Osteotomy / G. T. Szabok, V. C. Raghaven // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 1969. – № 7 (51). – P. 1430–1431.

216. Takeyasu, Y. Preoperative, Computer Simulation-Based, Three-Dimensional Corrective Osteotomy for Cubitus Varus Deformity with Use of a Custom-Designed Surgical Device / Takeyasu Y., Oka K., Miyake J. [et al.] // Journal of Bone and Joint Surgery. – 2013. – № 22 (95). – P. e173.

217. Tanaka, Y. Radiographic analysis of hallux valgus. A two-dimensional coordinate system. / Y. Tanaka, Y. Takakura, T. Kumai [et al.] // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 1995. – № 2 (77). – P. 205–213.

218. Trace, A. P. Radiology's Emerging Role in 3-D Printing Applications in Health Care / A. P. Trace, D. Ortiz, A. Deal [et al.] // Journal of the American College of Radiology. – 2016. – № 7 (13). – P. 856-862.

219. Trnka, H. J. Modified Austin Procedure for Correction of Hallux Valgus / H. J. Trnka, A. Zembsch, H. Wiesauer [et al.]// Foot & Ankle International. – 1997. – № 3 (18). – P. 119–127.

220. Trnka, H. J. The chevron osteotomy for correction of hallux valgus. Comparison of findings after two and five years of follow-up. / H. J. Trnka, A. Zembsch, M. E. Easley [et al.]// The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2000. – № 10 (82). – P. 1373–8.

221. Trnka, H.J. Intermediate-Term Results of the Ludloff Osteotomy in One Hundred and Eleven Feet / H. J. Trnka, S. G. Hofstaetter, J. G. Hofstaetter [et al.]// The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume. – 2008. – № 3 (90). – P. 531–539.

222. Trnka, H. J. SCARF osteotomy / H. J. Trnka, P. Bock // Der Orthopade. – 2017. – № 5 (46). – P. 408–413.

223. Truslow, W. Metatarsus primus varus or hallux valgus? / W. Truslow// JBJS. – 1925. – № 1 (7). – P. 98–108.

224. Tu, D.P. Three-dimensional printing combined with open reduction and internal fixation versus open reduction and internal fixation in the treatment of acetabular fractures: A systematic review and meta-analysis / D. P. Tu, Y. K. Yu, Z. Liu [et al.]// Chinese Journal of Traumatology. – 2021. – № 3 (24). – P. 159–168.

225. Uygur E. The role of 3D modeling in education of orthopedic trainees for the treatment of foot deformities / E. Uygur, İ. Ürkmen, B. Özturan [et al.] //Acta Chir Orthop Traumatol Cech. – 2020. – T. 87. – №. 5. – C. 346-349.

226. Voleti, P. B. Current Data Do Not Support Routine Use of Patient-Specific Instrumentation in Total Knee Arthroplasty / P. B. Voleti, M. J. Hamula, K. D. Baldwin [et al.]// The Journal of Arthroplasty. – 2014. – № 9 (29). – P. 1709–1712.

227. Volkmann R. Über die sogenannte Exostose der großen Zehe / R. Volkmann //Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin. – 1856. – T. 10. – №. 3. – C. 297-306.

228. Wang, X. Biomechanical modelling of a direct vertebral translation instrumentation system: preliminary results. / X. Wang, C. É. Aubin, H. Labelle [et al.]// Studies in health technology and informatics. – 2008. – 140 – P. 128–32.

229. Weidert, S. 3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training : Possibilities and fields of application / S. Weidert, S. Andress, E. Suero [et al.] // Der Unfallchirurg. – 2019. – № 6 (122). – P. 444–451.

230. Weil, L. S. Scarf osteotomy for correction of hallux valgus. Historical perspective, surgical technique, and results. / L. S. Weil// Foot and Ankle Clinics. – 2000. – № 3 (5). – P. 559–580.

231. Wilson, J. Oblique displacement osteotomy for hallux valgus / J. Wilson // The Journal of bone and joint surgery. British volume. – 1963. (45). – P. 552–6.

232. Wong, K.C. Computer assisted pelvic tumor resection and reconstruction with a custom-made prosthesis using an innovative adaptation and its validation / K. C. Wong, S. M. Kumta, K. H. Chiu [et al.] // Computer Aided Surgery. – 2007. – № 4 (12). – P. 225–232.

233. Wong, K. C. Image Fusion for Computer-assisted Bone Tumor Surgery / K. C. Wong, S. M. Kumta, G. E. Antonio [et al.]// Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2008. – № 10 (466). – P. 2533–2541.

234. Wong, K. C. Use of a patient-specific CAD/CAM surgical jig in extremity bone tumor resection and custom prosthetic reconstruction / K. C. Wong, S. M. Kumta, K. Y. Sze [et al.] // Computer Aided Surgery. – 2012. – № 6 (17). – P. 284–293.

235. Wong, K. C. One-step reconstruction with a 3D-printed, biomechanically evaluated custom implant after complex pelvic tumor resection / K. C. Wong, S. M. Kumta, N. V. Geel [et al.] // Computer Aided Surgery. – 2015. – № 1 (20). – P. 14–23.

236. Wong, K. C. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics / K. C. Wong // Orthopedic research and reviews. – 2016. (8). – P. 57–66.

237. Wong, K.C. Patient-specific instrument can achieve same accuracy with less resection time than navigation assistance in periacetabular pelvic tumor surgery: a cadaveric study / K. C. Wong, K. Y. Sze, I. O. L. Wong [et al.] // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2016. – № 2 (11). – P. 307–316.

238. Wong, T. M. The use of three-dimensional printing technology in orthopaedic surgery / T. M. Wong, J. Jin, T. W. Lau [et al.] // Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong). – 2017. – № 1 (25). P. 23-27.

239. Wu D. Y. Radiological Evaluation of a Preoperative First Metatarsal Realignment Test for Metatarsus Primus Varus and Hallux Valgus Correction by the Syndesmosis Procedure/ D. Y. Wu, E. K. F.Lam // Foot Ankle Int. 2020. Т. 41. № 3. С. 342–349.

240. Wu, K. K. Mitchell’s bunionectomy and wu’s bunionectomy: a comparison of 100 cases of each procedure / K. K Wu // Orthopedics. – 1990. – № 9 (13). – P. 1001–1007.

241. Wu K. K. Wu’s bunionectomy: a clinical analysis of 150 personal cases. / K. K. Wu // The Journal of foot surgery. – № 3 (31). – P. 288–97.

242. Wülker N., Mittag F. The Treatment of Hallux Valgus / N. Wülker, F. Mittag // Deutsches Ärzteblatt international. – 2012. P. 857

243. Xie, L. Three-dimensional printing assisted ORIF versus conventional ORIF for tibial plateau fractures: A systematic review and meta-analysis / L. Xie, C. Chen, Y. Zhang [et al.]// International journal of surgery (London, England). – 2018. (57). – P. 35–44.

244. Xiong, L. The efficacy of 3D printing-assisted surgery for traumatic fracture: a meta-analysis / L. Xiong, X. Li, H. Li [et al.]// Postgraduate Medical Journal. – 2019. – № 1126 (95). – P. 414–419.

245. Yang, P. 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture / P. Yang, D. Du, Z. Zhou [et al.] // – Injury. 2016. – № 12 (47). – P. 2816–2821.

246. Yildirim, Y. Effect of Metatarsophalangeal Joint Position on the Reliability of the Tangential Sesamoid View in Determining Sesamoid Position / Y. Yildirim, C. Abukoglu, B. Erol, [et al.] // Foot & Ankle International. – 2005. – № 3 (26). – P. 247–250.

247. Zimmer, T. J. Treatment of Hallux Valgus in Adolescents by the Chevron Osteotomy / T. J. Zimmer, K. A. Johnson, R. A. Klassen// Foot & Ankle. – 1989. – № 4 (9). – P. 190–193.

248. Ziv, S. D. S. P. R. W. A. Patient safety and simulation-based medical education / S. D. S. P. R. W. A. Ziv // Medical Teacher. – 2000. – № 5 (22). – P. 489–495.

249. Zygmunt, K.H. Z-bunionectomy with internal screw fixation / K.H. Zygmunt, C.J. Gudas, G.S. Laros // Journal of the American Podiatric Medical Association. – 1989. – № 7 (79). – P. 322–329.

SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Manuscript copyright

AKULAEV

Anton Andreevich

Three-dimensional planning with a customized guiding template production method in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity with scarf osteotomy

Scientific specialty: 3.1.8. Traumatology and orthopaedics

Dissertation

for a degree of

Candidate of Medical Sciences

(Translation from Russian)

Scientific supervisor:

Doctor of Medicine, Docent

Belenky I.G.

Saint Petersburg, 2023

CONTENTS

INTRODUCTION 220

CHAPTER 1. APPLICATION OF NEW METHODS IN SCARF OSTEOTOMY SURGICAL TREATMENT OF THE FOREFOOT ACQUIRED DEFORMITIES OF MILD AND MODERATE SEVERITY. THE PROBLEM CURRENT STATE 230

1.1. Acquired forefoot HV deformity etiology and pathogenesis 230

1.2. Deformity assessment and correction methods 232

1.2.1. Foot function assessment via questionnaires 232

1.2.2. HV severity radiographic assessment 235

1.2.3. Computed tomography 238

1.3 Hallux valgus surgical treatment. Osteotomies brief overview 238

1.3.1. Chevron osteotomy 239

1.3.2. Mitchell and Bosch osteotomy 241

1.3.3. Scarf osteotomy 242

1.3.4. MICO (Minimally Invasive Chevron and Akin osteotomy) 243

1.3.5. Proximal osteotomies 244

1.3.6. Joints arthrodesis 245

1.4. Corrective scarf osteotomy for Hallux valgus deformity 246

1.4.1. Indications and contraindications 248

1.4.2. Additional osteotomies during scarf procedure 249

1.4.3. Scarf osteotomy difficulties and complications 249

1.5. Current three-dimensional printing advancements in traumatology and orthopaedics 252

1.5.1. Customized project modeling 253

1.5.2. Printing methods and technology principles 254

1.5.3. Anatomical models for surgical planning 256

1.5.4. Custom-made devices 257

1.5.5. 3D printing application in traumatology and orthopaedics 260

1.5.6. Application of 3D printing in education 262

1.6. Resume 264

CHAPTER 2. MATERIAL AND METHODS 265

2.1. Dissertation study general characteristic and structure 265

2.2. Experimental study part 271

2.2.1. Three-dimensional planning with a customized guiding template production method development 271
2.2.2. Tissue segmentation, virtual model obtaining 272
2.2.3. Visual procedure planning 274
2.2.4. Guiding template design 276
2.2.5. Modeling and printing of a model 279
2.2.6. Guiding template and foot model printing 280
2.2.7. Customized model operation 281
2.3. Clinical study part 281
2.3.1. Inclusion criteria 282
2.3.2. General characteristics of patients included in the clinical study stage 1 283
2.3.3. General characteristics of patients included in the clinical study stage 2 283
2.3.4. General characteristics of patients included in the clinical study stages 3 and 4 285
2.3.5. Patients examinations 294
2.3.6. Surgical technique 297
2.3.7. Postoperative management 299
2.3.8. Study control points 299
2.3.9. Statistical methods 300
CHAPTER 3. GUIDING TEMPLATE PRODUCTION AND VIRTUAL ENVIRONMENT DATA TRANSFER QUALITY ASSESSMENT 302
3.1. Results characteristics 303
3.2. Results analysis 305
CHAPTER 4. THREE-DIMENSIONAL PLANNING METHOD APPLICATION WITH A GUIDING TEMPLATE PRODUCTION IN THE SURGICAL TREATMENT OF THE FOREFOOT ACQUIRED DEFORMITIES OF MILD AND MODERATE SEVERITY WITH SCARF OSTEOTOMY BY AN EXPERIENCED SURGEON 307
4.1. Study results in the first and second groups 308
4.2. Study results in the first and second groups in subgroups of additional osteotomy 311
4.3. Study results in the first and second groups in subgroups of no additional osteotomy 315
4.4. Subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy results comparison within each group 319
4.5. Results discussion 322

CHAPTER 5. SCARF OSTEOTOMY PERFROMENCE QUALITY BASELINE LEVEL OF A SURGEON MASTERING THE TECHNIQUE 324
5.1. Study results in the third group 324
5.2. Results comparison for the third and first groups 327
CHAPTER 6. THREE-DIMENSIONAL PLANNING WITH A CUSTOMIZED GUIDING TEMPLATE PRODUCTION IN THE WORK OF A SURGEON MASTERING THE TECHNIQUE OF CORRECTIVE SCARF OSTEOTOMY 332
6.1. Results comparison for the third, fourth and fifth groups 333
6.2. Results comparison for the third, fourth and fifth groups in the subgroup of additional osteotomy 340
6.3. Results comparison for the third, fourth and fifth groups in the subgroup of no additional osteotomy 347
6.4. Subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy results comparison within each group 355
6.5. Results comparison for the first and fifth groups 357
6.6. Clarification regarding the uneven distribution by gender 359
6.7. Results analysis 359
RESUME 361
CONCLUSIONS 368
PRACTICAL RECOMENDATIONS 369
ABBREVIATIONS 370
APPENDICIES 371
REFERENCES 378

INTRODUCTION

Study topic relevance

The history of treatment of hallux valgus deformity of the first toe dates back to the middle of the XIX century. In 1856, Volkmann published the first description of "bursitis of the big toe" [227]. Fourteen years later, Hueter suggested calling this condition "valgus deformity of the foot", describing the obvious deformation of the deviation of the thumb outward [111]. Since its official appearance in the XIX century, the Hallux valgus deformity (HV) has been one of the most frequently studied pathologies of the foot due to its high prevalence [61, 89, 106, 141, 153, 161, 213, 239]. Despite the fact that in recent decades this pathology has attracted considerable attention from representatives of orthopedic science and practice, its pathogenesis has not yet been fully studied [75, 187].

Nevertheless, today it is obvious that HV deformation is a stage–by-stage complex multi-plane process. The determination of its severity is primarily based on the data of X-ray examination. Load radiography occupies an important place as the imaging method of choice for assessing the degree of HV. At the same time, the classical study of deformation is mainly limited to two planes: medial-lateral and anteroposterior, which is estimated by radiographs performed in dorsoplantar and lateral projections. Based on these two projections, classical parameters for determining the severity of HV were developed [67, 198].

To date, more than 100 surgical interventions dedicated to the correction of HV and normalization of these two-plane quantitative parameters have been described [84]. Many of these methods are only of historical interest, but consistently favorable results do not always remain achievable even when performing more modern and popular surgical techniques, which are often accompanied by incomplete correction of deformity, leading to clinically significant indicators of adverse treatment outcomes. [33]. Despite the presence of many variants of osteotomies for the treatment of acquired deformities of the forefoot, the most universal osteotomy, which is applicable for the correction of various degrees of HV deformity, is scarf osteotomy, the study of which is devoted to this dissertation research.

Since the first mention of Weil L. in 1984 and the original article by Barouk L.S. in 1991, the main advantages of scarf osteotomy compared to other surgical methods have been its versatility, early functional recovery, preservation of movements in the first metatarsal-wedge joint and reliability of the result in the long term [13, 16, 28, 134, 174]. It has been shown that the scarf method provides effective and reproducible relief of symptoms of HV deformity even at its most severe degrees. However, this procedure, despite the obvious advantages, has a number of "pitfalls". This is evidenced by the publications of studies by Bock et al. in 2015 [43], where it says that scarf osteotomy may be associated with a fairly high recurrence rate. However, the frequency of relapses cannot be considered convincing evidence that their occurrence is associated with the operation itself. Relapse is a common complication, the frequency of which is reported to range up to 78% [116]. Raikin S. generalized risk factors for relapse, including anatomical, non-anatomical (systemic), social and surgical factors. It is possible that a combination of these causes was the reason for the high rate of relapses in the study [192]. If we talk about surgical factors, then there is a point of view that there is a problem of the exact execution of sawdust when performing a scarf osteotomy operation [84], this is due to the fact that the operation is performed by surgeons who have insufficient experience in performing such operations. There are two ways to improve the quality of the operation and speed up the process of mastering the technique for such surgeons: preoperative modeling and the creation of auxiliary systems for the operation. In recent years, as a result of technological progress, various models simulating real clinical situations have become available to improve surgical skills. Today, three-dimensional printing technologies are used in various fields of healthcare. Such simulators are able to create a safe, reliable and controlled environment for the student to practice in a leisurely atmosphere without risk to the patient. [173]. In addition, the simulators have a student-oriented paradigm, which is already based on the principle: "learn from mistakes", which already creates prerequisites for a positive model of learning perception. Mistakes are not only permissible during training on the simulator, but are also welcome, since they focus the attention of the student on themselves and at the same time do not harm patients at all [248]. The existing simulators are designed to help novice specialists master various

surgical skills and procedures using proper surgical instruments. Returning to the training of the skills of performing the operation scarf, the most appropriate way of modeling is the technology of three-dimensional printing with the creation of an individual model of the foot and an individual guide template for osteotomy of the first metatarsal.

Today, three-dimensional printing technology is used in many other industries, including in various fields of medicine, where there are many areas in which three-dimensional modeling and printing procedures improve treatment results. The most appropriate use of three-dimensional printing in the diagnosis and treatment of complex cases, especially in the field of traumatology and orthopedics, where it is especially important to determine the spatial relationships of parts of the skeleton affected by injury or disease. In such cases, three-dimensional printing technology can provide significant progress in understanding, planning and performing reconstructive operations due to the accurate reproduction of pathological changes in three-dimensional space. The proof of this is that interest in three-dimensional printing and publication activity devoted to this technology in traumatology and orthopedics has increased significantly recently [229]. This, in particular, is due to the fact that 3D printing methods can not only create models that give a better understanding of the complex anatomy and pathology of patients [160], but they can also help to create individual tools for each individual patient [51, 97, 216, 234] or even individual implants [32, 87].

Individual models of patients printed on a 3D printer can be successfully used in the process of training and discussing various options for surgical operations. In particular, such an experience is described in various pediatric orthopedic diseases, such as Perthes' disease, coxa Vara and fibrous ankylosis of the butt joint [210].

Individual fracture models were also used to improve the process of interaction with patients with complex fractures with a high degree of functional deficiency in the outcome of treatment. A visual demonstration of the fracture on a 3D model with an explanation of possible treatment options improved the understanding of pathology and increased patient satisfaction with the results of surgery [182].

It is also important that these physical models and their electronic computer-aided design software (AAP) files can be saved to create a library of various types of fractures,

so that, if necessary, the models can be printed again on a 3D printer. Such a collection of fracture models is a useful textbook for traumatologists, doctors of related specialties, clinical residents and medical students [182].

Study topic elaboration

There are only a few publications about the use of 3D-printed models in the training of surgeons in orthopedics [1], the potential advantages of this technology in the learning process are obvious.

Most surgeons are still just gaining experience in the operating room. At the same time, mastering certain surgical skills at the initial stage of training may expose patients to a certain risk. With tangible solid models, experienced colleagues can transfer their surgical experience to young surgeons and clinical residents much more easily. Complex or rare cases such as deformity correction, fixation of a multi-comminuted fracture, or resection of a bone tumor are usually difficult to explain theoretically during training. Their 3D models can provide students with unique opportunities to understand the individual altered anatomy of the patient. In addition, surgical practice on prototypes created with the help of 3D printing allows surgeons to get better acquainted with various options for surgery before they actually perform them in real clinical conditions.

It can be said that the potential of three-dimensional printing has not been studied and the increase in technical competence as a result of training on simulators created with the help of three-dimensional printing undoubtedly has potential. The undoubted prospects of 3D printing methods with the creation of individual tools for performing operations of correction of orthopedic deformities of the skeleton, combined with a number of unresolved issues regarding the technique of performing scarf osteotomy, allowed us to formulate the purpose of this study and its tasks.

Study purpose - to improve the results of surgical treatment of acquired deformities of the forefoot of mild and moderate severity through the development and application of a three-dimensional planning method with the creation of an individual guide template.

Study objectives

1. To develop a method of three-dimensional planning with a guiding template production for the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity.

2. To determine the correspondence of the data obtained in a virtual environment to the real data obtained after surgery using the three-dimensional planning method with a guiding template production in a biomechanical experiment.

3. To validate the three-dimensional planning technique use with a guiding template production in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity in real conditions.

4. To evaluate the impact of the three-dimensional planning technique with a guiding template production in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity on an experienced surgeon performance quality.

5. To evaluate the impact of the three-dimensional planning technique with a guiding template production in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity on a surgeon mastering the technique performance quality.

6. To evaluate the effects of concomitant Akin osteotomy and minimally invasive osteotomies of 2,3,4,5 metatarsal bones on the effectiveness of the three-dimensional planning technique with a guiding template production clinical application in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity.

Study scientific novelty

1. A method of applying three-dimensional printing technology for surgical treatment of acquired valgus deformity of the first toe of mild and moderate severity has been developed.

2. The technology of preoperative planning was developed and tested in the clinic, followed by the creation of an individual guide template for performing corrective osteotomy scarf, within which the following patents were obtained: patent for invention

No. 2018140531 of 2019.12.11, utility model patents No. 2018140533 of 2019.07.29, No. 2018140534 of 2019.07.03, No. 2018140535 of 2019.07.11.

3. The influence of the use of three-dimensional planning techniques with the creation of an individual guide template in the surgical treatment of acquired hallux valgus deformity of the first toe of mild and moderate severity on the results of the operation by an experienced surgeon, as well as by a surgeon mastering the scarf osteotomy surgery technique, has been studied.

Study theoretical and practical significance

1. The use of three-dimensional planning technologies in the educational process of mastering the methods of surgical treatment of bone deformities will significantly improve the quality of training due to the spatial perception of deformation and the principles of its correction.

2. The use of the developed and put into practice three-dimensional preoperative planning technique using an individual guide template for the correction of acquired hallux valgus deformity of the first toe of mild and moderate severity with scarf osteotomy will improve the results of treatment for surgeons mastering the operation technique.

3. The data obtained make it possible to perform additional osteotomies of other metatarsal bones and Akin osteotomies using an individual guide template in the treatment of acquired valgus deformity of the first toe of mild and moderate severity if there are indications for their implementation without fear of worsening the result of treatment and/or prolonging the rehabilitation period.

Materials and methods

A comparative clinical study was conducted in 5 clinical groups comparable in the number of patients, age, deformity degree, body mass index, IMA, HVA and AOFAS questionnaire results.

All clinical groups included patients with Hallux valgus deformity who underwent surgical treatment with the scarf osteotomy.

The first clinical group included patients whose surgery was performed by an experienced surgeon using a three-dimensional planning.

The second clinical group included patients whose surgery was performed by an experienced surgeon without the use of a three-dimensional planning.

The third clinical group included patients whose surgery was performed by a surgeon mastering the scarf technique before the three-dimensional planning stage.

The fourth clinical group included patients whose surgery was performed by a surgeon mastering the scarf technique during the three-dimensional planning stage.

The fifth clinical group included patients whose surgery was performed by a surgeon mastering the scarf technique after the three-dimensional planning stage.

Complications were monitored for 24 months postsurgery. The following complications were reported: metatarsalgia, recurrent deformity, stiffness.

The results obtained were evaluated by HVIPA, HVA, IMA, DMAA before surgery, and 12 and 24 months postsurgery.

The results obtained were evaluated using AOFAS scale, VASFA, MOFSQ before surgery, and 6, 12 and 24 months postsurgery. Operative time was also recorded in each group.

In addition, subgroups were analyzed depending on additional metatarsal osteotomies and Akin osteotomy performed. In the subgroups, a pairwise comparison was carried out for clinical parameters (any complications in 24 months), radiological parameters (HVIPA, HVA, IMA, DMAA before surgery, and 12 and 24 months postsurgery), questionnaires results (AOFAS scale, VASFA, MOFSQ before surgery, and 6, 12 and 24 months postsurgery) and operative time.

The required change in the first metatarsal bone length was assessed, HVA calculated in a virtual environment, IMA calculated in a virtual environment, HVA obtained by radiography postsurgery, and IMA obtained by radiography postsurgery were analyzed. A pairwise comparison of groups by angles obtained in the virtual environment and after

the operation was also carried out to determine the statistically significant reliability of the transfer of data obtained during planning.

Statistical analysis was performed for all parameters using methods corresponding to the data characteristics.

Key thesis submitted to approval

1. The method of three-dimensional planning allows you to create an individual template-guide, the use of which during the operation allows you to get the correction of deformation planned in a virtual environment.

2. The use of an individual guide template does not affect the quality of corrective osteotomy performed by an experienced surgeon, nor does it lengthen the operation time.

3. The use of the three-dimensional planning technique makes it possible to significantly improve the anatomical and functional results of a surgeon mastering the technique.

4. The experience of applying the three-dimensional planning technique using individual guiding templates improves the quality of the studied operations performed in the traditional way by a surgeon mastering the technique.

5. Performing additional osteotomies according to indications does not affect the effectiveness of the clinical application of the three-dimensional planning technique using individual guide templates in the surgical treatment of acquired hallux valgus deformities of the forefoot of mild and moderate severity with scarf osteotomy.

Study results reliability and approbation

The reliability of the results obtained is determined by analyzed sample randomly formed from the general population of interest. The study materials and methods were optimal to achieve the study objectives. The clinical and experimental data was sufficient to support the conclusions and practical recommendations. The main provisions of the

dissertation study were reported at major specialized Russian and international conferences:

First Balkan foot and ankle meeting, European interbalkan medical center (2018, Thessaloniki, Greece),

VI Russian Scientific and Practical Conference. (2020, Nizhny Novgorod, Russian Federation),

XII International Congress “Nevsky Radiological Forum-2021” (2021, online),

1299th meeting of the Traumatologists and Orthopedists Association Scientific and Practical section (2022, St. Petersburg, Russian Federation).

Study results practical implementation

The results of the dissertation study were introduced by the author into clinical practice of the St Petersburg University's N.I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies 2nd Traumatology department.

Applicant personal contribution

The purpose and objectives of the study were defined, methodological approaches and design of the study were developed, and statistical processing of the results obtained were performed by the applicant together with the supervisor – Doctor of Medicine, Professor I.G. Belenky.

The author participated personally in the literature data review and analysis, and experimental work: a guiding template development, the forefoot solid models development, operations planning, and an individual surgery protocol development in a virtual environment, as well as patients consultation and the surgery indications and contraindications determination. The author also performed surgeries himself and monitored a surgeon, mastering the technique during the operations, provided postoperative patients management, conducted questioning at all control points, collected radiography data at all control points, analyzed the data obtained, prepared materials for

publication, participated in articles writing, prepared reports for scientific conferences on the study topic.

Publications

On the dissertation study topic 5 printed papers have been published, including 3 articles in peer-reviewed scientific journals recommended for scientific publications of applicants by the Russian Federation Higher Attestation Commission, 4 patents have been obtained.

Dissertation thesis structure and size

The dissertation thesis is presented on 216 pages of typewritten text, illustrated with 33 figures, contains 28 tables; consists of an introduction, a literature review, characteristics of the study patients and descriptions of research methods, as well as four chapters of own observations, resume, conclusions, practical recommendations and a list of references containing 249 sources, of them 27 are domestic and 223 are foreign.

CHAPTER 1. APPLICATION OF NEW METHODS IN SCARF OSTEOTOMY SURGICAL TREATMENT OF THE FOREFOOT ACQUIRED DEFORMITIES OF MILD AND MODERATE SEVERITY. THE PROBLEM CURRENT STATE

This chapter will provide a literature review uncovering several aspects necessary for this dissertation thesis research understanding. At the very beginning, questions of the forefoot deformity and its pathogenesis will be raised. The use of modern osteotomies for the forefoot deformity correction will be briefly described. Further attention will be focused on scarf osteotomy as a universal procedure and the procedural errors causes and consequent complications will be discussed. Taking to account importance of scarf osteotomy technique, three-dimensional planning method and customized printing devices development, current advancements of the three-dimensional planning will be described.

1.1. Acquired forefoot HV deformity etiology and pathogenesis

The forefoot Hallux valgus (HV) deformity is a complex deformation of the first ray of the foot, which leads to a change in joints mechanics, their dysfunction and progressive pain, most often localized in the first metatarsophalangeal joint. HV prevalence is 23% in adults aged 18 to 65 years and 35.7% in people over 65 years. The prevalence is higher among women ranging from 2:1 to 15:1 of affected per a man [179, 183, 190, 193].

The exact HV etiology and biomechanics are not fully understood. It is known that Hallux valgus is the result of both the first metatarsal bone head medial deviation and foot pronation. A number of HV predisposing factors have been identified, including female gender, age, narrow shoes and genetics [65]. Women are more likely to develop the deformity, which is probably due to shoes and bone anatomy differences, general ligament weakness and their first ray hypermobility [66]. Narrow shoes, especially with high heels, are considered an external predisposing factor for HV due to increased load

on the first metatarsal bone head and the first metatarsal joint valgus tension caused by foot forward sliding in a narrow sock during walking [63, 164, 175]. HV prevalence increases with age due to age-related changes in joints mechanics and the sole lo [204]. HV also appears to have a strong genetic predisposition. In a large level IV study, 90% of patients with HV had at least one family member suffering from a similar disease (n = 350). Although the exact pattern of inheritance remains unclear, it is believed that the disease is autosomal dominantly inherited with incomplete penetrance [190].

Other potential HV predisposing factors include the first ray hypermobility, flat heel, the Achilles tendon relative shortening and foot ligaments weakness [84]. The first ray is naturally unstable, since its stability depends on several static and dynamic structures in the first metatarsophalangeal (MTP) and metatarsal-cuneiformis joints. It is believed that the first stage of HV is weakening of the first ray medial supporting structures, which leads to the first metatarsal bone medial deviation, as well as the first toe lateral deviation and pronation, causing progressive varus deformation in the metatarsal joint. Since the first metatarsal bone head is displaced medially and rotated in the frontal plane, its position changes relatively to the sesamoid bones. As a result, the first metatarsal bone head is located on the medial sesamoid bone, while the lateral sesamoid bone is located in the first intertarsal space [75, 140, 185].

In addition, the metatarsophalangeal joint deformation subsequently allows lateral stretching in tendons of the first toe flexors and extensors, exerting additional deforming force, which leads to the head of the first metatarsal bone medialization [187, 217].

It has been shown that hammer toe deformity is associated strongly with HV [8, 27]. Most researchers consider hammer deformity mainly secondary, since the first toe outward deviation “displaces” the second toe position. It is also believed that this deformity is the result of the long flexor tendon overpowering the antagonist muscles [99, 166].

In addition, HV interferes with the forefoot normal function during the walking cycle, transferring pressure from the big toe and overloading the heads of the small metatarsal bones [242]. Pathology of the foot posterior part could also contribute to the HV development. For instance, the described deformity is associated with a higher

prevalence of the Achilles tendon contracture [79] The Achilles tendon length relative reduction leads to increased forefoot pronation and foot valgus load. As a result, the long fibular muscle loses its stabilizing effect on the first metatarsal bone in the frontal plane, which leads to a decrease in the first ray and foot medial part stability [197]. Pes planus leads to the first ray increased pronation, which enhances loading on the first ray medial and plantar side during the heel lift [187].

Thus, HV is a complex polyethological acquired deformity of the forefoot, involving both bone and soft-tissue structures of the foot with its normal biomechanics disturbance.

1.2. Deformity assessment and correction methods

There are various ways to assess deformity severity and further correction efficacy. The foot appearance and position, and the first metatarsal-cuneiformis and metatarsophalangeal joints range of motion are generally assessed. It is very important to assess toes deformity, pseudoexostosis degree, and the foot shape, as well as the metatarsophalangeal joints range of motion and pain, the foot rigidity, and the ability of the lower leg muscles contraction to eliminate the deformity. Clinical assessment of the first metatarsal joint the stability is also important [42, 90, 222]. Questionnaires are also used in clinical practice, for example, the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) scale, which is most often used for the foot pathology comprehensive assessment [121, 130, 201]. Feet X-ray assessment in the dorsoplantar and lateral projections with loading is also required to determine indications and contraindications for surgery [14, 149].

1.2.1. Foot function assessment via questionnaires

To choose a tool for the feet functional state and the overall patient health assessment could be a difficult task. In 2016, to find the most convenient tools for the initial and post-

treatment patient status determination Mo and co-authors performed a comparative analysis of the existing evaluation scales [15].

The gold standard for the foot function assessment is the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) foot and ankle diseases clinical rating scale [15]. The scale advantage is the most common and understandable items to be filled in personally by the patient (questions about pain syndrome intensity, activity restriction, shoe requirements and calluses). In addition, the scale assess the metatarsophalangeal and interphalangeal joints range of motion and stability. The scale was proposed by H. Kitaoka and co-authors in 1994 [15, 130]. However, E. Pinsker from the American Academy of Orthopaedic Surgeons and colleagues suggest that the scale is imperfect and cannot be used as an objective diagnostic criterion [15, 189]. Thus, other assessment scales should be additionally used, particularly, Visual Analog Scale Foot and Ankle (VAS FA). This is a scale for the foot and ankle joint functional state assessment. It is made as a visual analog scale. The advantages of the scale are visibility, ease of use, and methodological sensitivity [15, 196].

MOXFQ (Manchester-Oxford Foot Questionnaire) described by Dawson, J. and colleagues is also used in the foot function assessment [73, 74]. Its advantages are: the scale was developed specifically to evaluate the results of the feet orthopedic diseases surgical treatment and, therefore, has higher sensitivity than non-specific tests evaluating the lower limb as a whole. Comparative studies of the questionnaire versus AOFAS and SF-36 scales have shown that MOXFQ is accurate and reliable. The method disadvantage is hardly perceived questions to be filled out in the questionnaire Russian version [15, 73, 74].

FADI (Foot and Ankle Disability Index) is designed to assess the foot and ankle joint diseases-associated functions and limitations. The method is based on a questionnaire filled out personally by a patient. The method advantage is that the patient in an online form on www.orthopaedicscore.com website fills out the questionnaire independently. The score is calculated automatically, saving time and eliminating possible calculation errors. The index is sensitive to parameters such as pain and daily activity. The method disadvantages are low sensitivity and that the scores are only allow

distinguishing patients from healthy ones without precise problem localization. The online questionnaire presented in English only, which excludes its use by most Russian patients without prior adaptation. In addition, the questionnaire does not indicate a specific part of the foot or ankle joint to localize pathological changes, which, in turn, complicates the interpretation of the scores ratio obtained before and after surgical treatment [15, 100].

FHSQ (Foot health status Questionnaire) has a number of advantages: brief questions, easy to fill out, considering such concomitant diseases and conditions as diabetes mellitus, rheumatoid arthritis, hormone replacement therapy, smoking and education level. The questionnaire is highly sensitive to parameters such as pain and daily activity. Its disadvantages are subjectivity of answers, lack of objective evaluation criteria, lack of questions indicating pathological process localization [15, 70, 138].

EFAS (European Foot and Ankle Society) questionnaire was developed to summarize data from clinics in various countries. Since statistical evaluation of massive scales in different languages causes difficulties in data processing and systematization, the main aim of the questionnaire was both to develop and to validate the EFAS score in different European languages. The unified EFAS scale, consisting of six items, was successfully developed and approved in seven European languages (Russian is not on the list). This scale takes into account pain and foot function aspects. The maximum score is 24 (the best possible), and the minimum score is 0 points (the worst possible). During the scale development, the number of items was reduced from 31 to the final 6 items EFAS form.

Despite the available data on the AOFAS scale limitations, the scale currently remains the most common for the foot and ankle joint functional assessment, which allows various studies data comparing [15]. Nevertheless, the other assessment scales use along with AOFAS scale seems to be reasonable for the foot state comprehensive assessment.

1.2.2. HV severity radiographic assessment

HV severity is traditionally determined by the forefoot radiographs in dorsoplantar and lateral projections with loading. The most significant indicators are angular measurements: HV angle (HVA), the first intermetatarsal angle (IMA), distal metatarsal articular angle (DMAA), the sesamoid bones position, the first interphalangeal angle (hallux valgus interphalangeal angle - HVIPA). The medial metatarsal-cuneiformis joint assessment should also be considered, as it affects the first metatarsophalangeal joint stability.

IMA (the first intermetatarsal angle). On a loading radiograph, the control points for the metatarsal bones longitudinal axis calculation are located in the proximal and distal metaphysis regions equidistant from the medial and lateral cortical layer of the first and second metatarsal bones. The angle on the intersection of these axes is the IMA. Normally, it has a size of less than 9 degrees, with mild deformation – up to 11 degrees, moderate deformation - from 11 to 16 degrees, and severe deformation – of more than 16 degrees. The 1-2 IMA is considered the decisive one in HV assessment and correction [66, 76, 191].

HVA (hallux valgus angle – hallux valgus angle). On a loading radiograph, axes are placed on the first metatarsal and proximal phalanges in such a way to bisect the diaphysis in the proximal and distal metaphysis regions equidistant from the medial and lateral cortical layer of the proximal phalanx and the first metatarsal bone. The angle on the intersection of these axes is the HVA angle. Normally, the angle is less than 15 degrees. Mild deformation corresponds to an angle of less than 20 degrees, moderate deformation - from 20 to 40 degrees, and severe deformation – of more than 40 degrees. The HVA angle is one of the most important indicators of the foot first ray deformation. Combined assessment of the IMA and HVA angles allows accurate surgery indications determination, as well as the deformity correction stability postoperative monitoring.

DMAA (distal metatarsal articular angle). On a loading radiograph, DMAA determines the ratio of the first metatarsal bone distal articular surface to the first metatarsal bone longitudinal axis.

The points are located most medially and laterally on the first metatarsal bone distal articular surface. The line connecting these points determines the lateral incline of the articular surface. The other line is placed perpendicular to this articular line. The angle formed by this perpendicular line and the longitudinal diaphysis axis of the first metatarsal bone is the DMAA. The normal angle is of 6 degrees or less [66]. Since this angle is projected and different methods used for its measuring could give different results, DMAA estimation is controversial. Frumberg, David B., et al. noted that DMAA was not constant and depended on the projection used for its measurement [90]. Cruz, E.P. et al. reported that more accurate DMAA measurements could be obtained with 3D CT reconstruction, and not with standard radiography [69]. Thus, despite the importance of DMAA measurement, it should be evaluated with caution considering the standard measurement method on a two-dimensional radiograph in Hallux valgus deformity correction [69].

HVIPA (hallux valgus interphalangeal angle – the first interphalangeal angle). On a loading radiograph, the reference points are placed in the proximal and distal metaphysis regions of the proximal phalanx of the first toe, equidistant from the medial and lateral cortical layer to create the proximal phalanx axis. The points are placed in the center of the distal phalanx bottom and on the distal phalanx apex, and the second axis is drawn. The angle on the intersection of these two axes is the HVIPA angle. An angle of up to 10 degrees is considered normal [66].

Since an integrated approach to the deformity correction should be applied to achieve a satisfactory functional result, the interphalangeal angle assessment to determine the need for additional osteotomy is also important.

First ray length assessment. HV etiology may also be associated with the first metatarsal bone excessive length. Munuera P.V. reported a study of 152 radiographs (98 normal feet and 54 HV feet) [176]. It was found that the first metatarsal segment excessive length may be involved in the HV deformity development. When a foot with a long first metatarsal segment is placed in a narrow toe box or is in the repulsion phase during walking, pressure from the toe box medial line shifts the big toe to the side at the metatarsophalangeal joint level, causing HV deformity.

There are several methods for measuring the first and second metatarsal bones length. Morton method suggests to estimate the distance between parallel lines passing through the most distal points of the metatarsal bones. Hardy and Clapham method uses arcs passing through the most distal points of the metatarsal bones. Such a method tries to take into account angular deformations [187].

Li, X. et al. proposed to estimate the ratio of the first and second rays with the following formula: EL = P1-P2-D, where the first toe length (P1), the second toe length (P2), the first and second metatarsal bones length difference according to Morton (D) were estimated and the first ray length excess (EL) was determined. According to the study results, a significant correlation was observed for postoperative P1, postoperative EL and recurrence of HV deformity. Understanding the first ray length excess before surgery could help improve the operation outcome [150].

Sesamoid bones position radiographic assessment. There are various estimates of the sesamoid bones position [103]. The most commonly used classification was proposed by Yildirim and colleagues in 2005 [246]. The authors classified 4 positions of the medial sesamoid bone relative to the metatarsal bone crist. With 0 degree, the medial sesamoid bone is placed completely medially relative to the intersesamoid crist; with the 1st degree, less than half the medial sesamoid bone width is subluxated laterally. With the 2nd degree, more than half of the medial sesamoid bone width is subluxated laterally, and with the 3rd degree, the medial sesamoid bone is completely lateralized relative to the crist.

First metatarsal-cuneiformis joint assessment. The proximal articular surface of the first metatarsal bone articulates with the distal articular surface of the first cuneiformis bone, forming the first metatarsal-cuneiformis joint. This elliptical concave articular surface is oriented in the transverse plane [125, 205]. Normally, it is inclined medially, however, in some cases the incline could be pronounced, which is believed to lead to the joint instability. That is why this joint is difficult to visualize on simple radiographs, and the better approach is to use three-dimensional measurements with the foot loading modeling [88, 93, 113, 115, 124]. The first metatarsal-cuneiformis joint radiographic

assessment is complex and requires a deep understanding of three-dimensional anatomy [18, 78, 81, 114].

The foot stability in the first metatarsal-cuneiformis joint directly affects treatment tactics. Morton D.J. was the first to propose the term first ray hypermobility and to suggest that both this hypermobility and the calf muscle relative shortening lead to variety of disorders in the foot and ankle function [82]. Although the first metatarsal-cuneiformis joint is a key factor in both IMA and HVA angles increase, Morton did not associate the first ray with HV deformity, however, he suspected a connection between that increased mobility and various foot disorders [10]. Thus, the first metatarsal-cuneiformis joint orientation and flexibility play an important role in the deformity development [93, 207].

1.2.3. Computed tomography

In recent years, scientific publications describing computed tomography with loading tests to assess foot pathology have arisen in literature [21, 163]. For instance, a method for diagnosing acquired flat feet in adults using computed tomography was developed in the Russian-Japanese Scientific and Educational Center [21]. Computed tomography with loading is an effective investigational tool for direct measurement of rotation without affecting the first metatarsophalangeal joint position [54, 60]. Due to a larger number of slices, computed tomography allows assessing the foot state in more details. In addition, a virtual and printed model could be created based on computed tomography data [194]. Thus, computed tomography could be considered rational and feasible for a comprehensive pathology assessment and the foot bones spatial relationship investigation in diagnostics and preoperative planning.

1.3 Hallux valgus surgical treatment. Osteotomies brief overview

Conservative treatment for HV deformity could be applied at the initial stages and in case of contraindications to planned orthopedic surgery. It should be noted, that

conservative treatment does not correct the deformity, but helps to reduce or eliminate its symptomatic manifestations [9, 20], taking this to account conservative treatment aspect are not discussed in this study.

The aim of effective surgical treatment is to normalize anatomical relationships of the main bone structures responsible for the foot proper movement during functional loading. These structures are, first of all, the heads of the first and other metatarsal bones forming the transverse arch of the foot.

There are many techniques [84], that allow HV deformity correction, which implies indirectly there is no optimal surgery method [12, 17, 19, 26]. This part of the literature review covers basic osteotomy techniques for HV deformity correction.

1.3.1. Chevron osteotomy

Distal chevron osteotomy technique was originally proposed by Corless in 1976 [62] and described by Austin and Leventen in 1981 [31]. The method is based on V-shaped osteotomy. Since its initial description, several changes have been made to the operative technique, including the osteotomy angle and various internal fixation methods use [169]. Many modifications have been introduced in an attempt to apply the technique for moderate HV deformities. Relatively high effectiveness of this operation is reported with mean HVA correction from 12 to 15 degrees, and mean IMA correction from 4 to 5 degrees. A decrease in the foot opening angle from 3 to 6 mm after chevron osteotomy is reported. Zimmer et al. [247] published a report on the chevron osteotomy effectiveness in juvenile patients with 20% recurrence rate. Based on the study results, it could be concluded that the deformation of less than 30 degrees for HVA and less than 12-13 degrees for IMA could provide continuously reproducible result. Inclusion of more severe deformities for the procedure indications seems to increase the risk of unsatisfactory results and complications. About 50 adult patients in the study [126], who underwent the distal metatarsal bone chevron osteotomy for HV deformity, reported 74% satisfaction with IMA greater than 12 degrees, and 94% satisfaction with IMA of 12 degrees or less.

In general, Harper [104] noted that the trigonometric degree of the first metatarsal bone varus deformity correction with the head of the first metatarsal bone lateral displacement via chevron osteotomy corresponds to approximately 1 correction degree for every millimeter of lateral displacement. A large correction was achieved by Trnka et al. [219] and Stienstra et al. [211], described that the osteotomized fragment moved by almost 10 mm did not result in a single case of delayed fusion, non-fusion or avascular necrosis. Trnka et al. [219] conducted a retrospective study on 100 feet operated with chevron osteotomy with the main fragment displacement by 3-6 mm, obtaining 87% of good and excellent results. In a subsequent study [220], there was no deterioration in results or subjective satisfaction with 5-year follow-up.

Mann and Donatto in their study of 17 patients and 23 feet series [159] analyzed the degree of HVA and IMA correction and the sesamoid bones position in order to carefully determine the true correction after chevron osteotomy. They measured HVA and IMA by drawing lines bisecting the first and second metatarsal bones cores, and then compared the results with the results of the head center method. The latter measures the angle formed by a line drawn from the center of the head of the first metatarsal bone and the middle of the metatarsal bone bottom and a line bisecting the second metatarsal bone [67]. With the method dividing both metatarsal bones in half, the IMA before and after surgery was 11 degrees. With the method in the center of the head, the IMA was 9 degrees before surgery and 7 degrees after surgery. When the HV angle was measured with one line passing through the longitudinal axis of the first metatarsal bone and the other - through the proximal phalanx, a correction of 5 degrees was sown compared to 8 degrees with one line passing through the center of the head of the first metatarsal. In fact, this demonstrates that chevron osteotomy provides quite small correction degree, which must be taken into account when selecting patients for this procedure.

Chevron osteotomy provides only limited correction of valgus deformity with increased DMAA [65]. Because of this, the method should be performed in mild to moderate valgus deformity. Chou et al. [57] reported 14 patients who underwent chevron osteotomy for mild to moderate valgus deformity with DMAA mean correction of 7-degree was achieved.

Internal fixation allows incidence minimization of the main fragment medial or lateral displacement or dorsal or plantar deviation postoperatively [31, 219], especially in those for whom a large osteotomy displacement is desirable.

1.3.2. Mitchell and Bosch osteotomy

Mitchell osteotomy is a double subcapital osteotomy of the first metatarsal bone as a small stair step with displacement of the head fragment laterally and downward, performed by an open technique [77]. Correction of the foot valgus deformity using Mitchell distal osteotomy of the first metatarsal bone was initially described by Reverdin [195] in 1881, and later by Peabody in 1931 [186], and Hohmann in 1925 [108]. However, it was Mitchell [105, 168] who described and popularized the technique of biplanar metaphysis osteotomy, in which the main fragment lateral and plantar displacement is achieved, as well as the first metatarsal bone shortening. Wilson [231] and others [98, 172] described oblique metaphysis osteotomy, Bosch [46, 47] and Kramer [133], - described transverse osteotomy, and Magnan [37, 155],- described percutaneous osteotomy. The Mitchell procedure described by Hawkins et al. [105], is a two-stage osteotomy through the neck of the first metatarsal bone. Over the years, several modifications have been introduced to the procedure [48, 167, 172, 200] on osteotomy technique, internal fixation method, and postoperative care [48, 172, 215].

The described changes make Mitchell's eponym slightly non-appropriate for the procedure description. Nevertheless, key Mitchell's principles remain unchanged — shortening should be minimized, the main fragment plantar flexion should be consistently achieved, as well as the main fragment rotation in some cases, to align the distal articular metatarsal surface.

Bosch osteotomy is generally quite similar to Mitchell osteotomy. In fact, this is the same osteotomy, but performed through a small skin incision with a drill. However, it has achieved much attention recently [37, 155].

Today, Mitchell osteotomy is of historical interest, although the general experience of using both Mitchell osteotomy and modified Mitchell-type osteotomies of the distal metatarsal bone provide satisfactory correction in 82-97% of cases. In the two largest series, Blum [41] reported 185 out of 204 patients (91%), were satisfied with the procedure, while Hawkins et al. [105] reported 182 out of 188 patients (97%). The mean HVA correction achieved varies from 10 to 25 degrees, and the mean IMA correction varies from 5 to 10 degrees. The first metatarsal bone shortening is a key component of hallux valgus correction; however, this exposes the patient to the risk of postoperative metatarsalgia [105, 184].

Excessive shortening is the most common cause of pain and calluses development after the first metatarsal bone distal osteotomy for hallux valgus correction. Merkel et al. [165] reported mean shortening of the first metatarsal bone by 7 mm. In patients with incline angle greater than 10 mm [41, 96, 105, 168] or the main fragment plantar displacement [165, 240, 241], it was recommended to reduce the adverse consequences of the first metatarsal bone shortening. Since the osteotomy site dorsal angle usually aggravates the consequences of the first metatarsal bone shortening, it is associated with patient dissatisfaction [48, 165, 240, 241].

However, there are a number of potential complications associated with this method, including osteonecrosis, non-fusion, improper fusion and recurrence. In addition, possible unacceptable recurrence was described in patients with moderate to severe HV deformity [109].

1.3.3. Scarf osteotomy

In 1926, Meyer [134] described for the first time longitudinal osteotomy of the first Z-type metatarsal bone, although both Burutaran [52] and Gudas [249] are also known for early descriptions of this technique. Nevertheless, Weil [45, 230] and Barouk [34–36] popularized the procedure, and it was Weil who came up with the name “scarf” [45].

Scarf is a carpentry term that describes a joining made by cutting or trimming two ends of a tree, and then securely fastening them into one continuous block so that they fit tightly together. Weil [230] described three different types of scarf osteotomy, determined by the length of the longitudinal osteotomy: short scarf osteotomy (25 mm long), used to treat hallux valgus with the IMA of 13 degrees or less, as well as for patients with higher DMAA [36]; medium-length scarf osteotomy to treat IMA from 14 to 16 degrees; and osteotomy with a long scarf to treat IMA from 17 to 23 degrees.

Many authors recommended using scarf osteotomy in combination with distal soft tissues surgery as the main procedure for moderate or severe valgus deformity correction, although the maximal displacement angle of 20 degrees was recommended for this technique [28, 29]. Osteotomy use rationale is versatile: the first metatarsal bone core is lateralized reducing the IMA; displacement is achieved to increase the first ray loading; the metatarsal bone could be shortened or lengthened [230].

The surgery subjective satisfaction is usually high and ranges from 89% to 98% [45, 68, 120, 202, 230], although Kundert and Furman [91] reported deformity recurrence in 25% of cases.

1.3.4. MICO (Minimally Invasive Chevron and Akin osteotomy)

More recently, minimally invasive methods have become popular due to the potential reduction in recovery time, smaller scar size and greater movements range in the early postoperative period [7, 152]. Early generations of this method were criticized for insufficient evidence of its use and a high level of complications [40].

Lucas y Hernandez et al. in 2016 [152] reported a series of cases of 45 procedures in 38 patients with mean follow-up period of 60 months. They demonstrated an improvement in the AOFAS scale score from 62.5 to 97.1 points. Radiological parameters included the HVA improvement from 26.6 to 9.6 degrees and the IMA improvement from 11.8 to 7.9 degrees. Ninety-seven percent of patients reported being satisfied or very

satisfied. Complications occurred in 15.5% of cases, including 1 fixation failure, 1 delayed wound healing, 1 painful residual exostosis, and 4 screw removals.

Lam et al. in 2015 [122] reported a series of 23 cases in 20 patients with mean follow-up period of 18 months. They demonstrated the AOFAS scale score improvement from 59.3 to 88.4 points. Radiological parameters included the HVA improvement from 31.68 to 14.39 degrees and the IMA improvement from 13.77 to 7.98 degrees. The complication rate was 17%, with this, 4 cases of the proximal phalanx screw impingement required removal. Other secondary outcomes included mean operative time of 94.3 minutes and mean hospital stay of 2.6 days. The complication rate, operative time, and hospital stay are slightly higher compared to our experience; this may reflect the experience of learning curve inclusion in their series and the relatively small number of patients. No patient satisfaction was reported in their series.

Recurrence rate after surgery for valgus deformity was reported to reach 16% [143]. Magnan et al. [156] in 2019 published long-term results (of 9.8 years mean) in 35 cases of percutaneous distal osteotomy with temporary K-wire fixation, demonstrating efficient results with only 1 recurrence in 14 years. The modern MICO technique with a stronger arrangement of screws in the bone could further reduce the recurrence rate, but it is yet to be studied in revision surgery.

The MICO technique is a safe and effective approach to hallux valgus treatment. However, further research is required, focusing on long-term results and comparing data with other operational methods.

1.3.5. Proximal osteotomies

Crescentic osteotomy and proximal chevron osteotomy are promoted as tools for increased IMA correction without significant changes in the first metatarsal bone length [64]. In the case of a long first metatarsal, the surgeon may use a long oblique proximal osteotomy to avoid the lengthening effect of the opening wedge technique. Many types and modifications of the technique are described [221]. The modified Mau method was

proposed by Glover and co-authors [95]. Their medial approach is similar to the medial open wedge technique described earlier, and a shorter osteotomy is used in the modification compared to the traditional Mau technique.

In 1996, Easley M.E. and colleagues [83] compared proximal crescentic osteotomy with proximal chevron osteotomy for hallux valgus correction. The results were generally the same with respect to hallux valgus and IMA correction and pain relief. The main difference was the absence of dorsiflexion at the osteotomy site observed in some cases after proximal crescentic osteotomy, which did not seem to affect statistically either new injuries incidence during transfer or existing injuries resolution.

1.3.6. Joints arthrodesis

Arthrodesis of the first metatarsal joint was proposed to treat valgus deformity at the beginning of the last century [86, 132, 223]. On February 1910, G.A. Albrecht performed corrective arthrodesis of the first metatarsal joint for the first time [6], and then was popularized by Lapidus [139] in the 1950s and the correction of valgus deformity associated with the first ray hypermobility with the method was emphasized. When Lapidus had introduced the procedure in practice, the main attention was paid only to the first metatarsal joint arthrodesis, which was already recognized to be effective for treatment of both the anterior and middle parts of the foot dysfunction, including valgus deformity, metatarsalgia, stress fracture of the small metatarsal bones, and the middle part of the foot arthrosis [118, 131, 157]. Since then, Lapidus surgery has been used in the treatment of operations unsuccessful outcomes or recurrent deformities [85], as well as in severe degrees of foot deformity [11].

There are many ways to achieve the foot anatomy normalization. These are various modifications of proximal and distal osteotomies, as well as arthrodesis of the first metatarsal joint. All of these lead anyway to the head of the first metatarsal bone lateralization. Thus, there are many corrective osteotomies, which indicates the absence of one universal technique. Nevertheless, many specialists today use scarf method, as this

technique allows solving completely all the tasks in the forefoot mild and moderate deformities correction. The method is clear, widespread, and allowed for replication.

1.4. Corrective scarf osteotomy for Hallux valgus deformity

Since the original article by Barouk L.S. in 1991, such scarf osteotomy characteristics as versatility, early functional recovery, the first metatarsal-cuneiformis joint movement preservation and long-term result reliability were considered the procedure advantages compared to other surgical methods [13, 16, 28, 134, 174].

The procedure rationale is based on its versatility: the head of the first metatarsal is lateralized reducing IMA; plantar displacement is achieved to increase the first ray loading; the metatarsal could be shortened or lengthened; and DMAA could be decreased up to 10 degrees [28, 29, 146, 149].

Lipscombe S and his colleagues agreed with Barouk's early findings, at least in the medium term. In their study, 31 feet underwent scarf osteotomy for HV deformity. During the prospective follow-up, radiographic and clinical evaluations were performed. Both radiological and clinical improvement was achieved 6 weeks after in all patients. The AOFAS scale scores revealed a significant ($P < 0.01$) mean increase from 47.94 to 96.10 points 12 months postsurgery. This subjective decrease in symptoms according to the AOFAS scale persisted for 5 years postsurgery. Both HVA and IMA have been significantly improved.

In an earlier retrospective study, Crevoisier X. and his colleagues [68] confirmed again with AOFAS scale scores an increase in satisfactory results among patients ($P < 0.001$). Loading radiography showed significant changes in HVA and IMA. The Hardy-Clapham index (reflects the medial position of the sesamoid bones) also improved ($P < 0.001$). Interestingly, the researchers refuted Barouk's original statement on the first metatarsal-cuneiformis joint movement preservation, with this, 7% of patients experienced a decrease in the range of motion over 22 months of follow-up mean. The authors demonstrated an increase in the range of motion of the first metatarsophalangeal

joint from 59.7 to 71.1 (P <0.001). Radiographic analysis showed significant changes in HVA (from 32.5 to 6.2 degrees), IMA (from 15.5 to 6.6 degrees) and the medial position of sesamoid bones (P <0.001).

Early return to work in patients who underwent scarf osteotomy was highlighted in a study by Kristen K.H. and colleagues [134], in which the mean return to work time was 5.8 weeks, and the mean return to sports time was 8.3 weeks. There was also an early documented increase in AOFAS scale scores for the forefoot and changes in HVA/IMA (P <0.001).

Lora T.J. and colleagues in their study reported on the scarf technique effectiveness [151]. Mean postoperative AOFAS scale score was 89 points. Preoperative scores were not recorded for comparison.

In the result of podographic data collection Beta R.P. and colleagues recorded a change in peak pressure in the head of the first metatarsal for the preoperative and postoperative measurements, although it was not significant (P=5.2) [39]. The mean values both before and postsurgery were within the normal range. No differences were found for the preoperative and postoperative changes on the non-operated feet in patients who underwent unilateral procedures. In two patients, an increase in pressure on the head of the first metatarsal was shown; one had a low AOFAS scale score and was not satisfied with the operation results. The other subsequently had a long distal screw removed. Mean improvement of 6 and 19 degrees was noted in IMA and HVA, respectively. No significant changes were noted in DMAA. The range of motion in the first metatarsal-cuneiformis joint increased in 26% of cases.

Similar improvements in clinical status, AOFAS scale scores, and radiographic evaluation have been shown in several publications, indicating predictable and positive results of scarf osteotomy in HV deformities correction [127, 188, 206].

In a study by Lorei et al., a follow-up of 33 months mean conducted to assess clinical and functional outcomes in 32 patients with HV showed that scarf osteotomy reduces pain syndrome and allows achieving a high quality rolling of the foot when walking [56].

Scarf osteotomy is currently widely used for the treatment of HV deformity due to providing internal fixation stability with screws and the first metatarsal minimal shortening, which could be controlled [208].

In addition, Scarf osteotomy could be performed relatively safely in patients of older age groups. Several studies have concluded that osteoporosis is not a contraindication for performing Scarf osteotomy.

The use of scarf method is not limited to adults. George H.L. and colleagues retrospectively studied the use of the technique for HV deformity correction in adolescents, thus, 19 feet were operated this way [94].

There was a significant improvement in IMA, HKA and DMAA 6 weeks after the surgery ($P < 0.0001$). Unfortunately, by 37.6 months mean of follow-up, the change in both DMA and HVA, compared with preoperative radiographs, was no longer statistically significant ($P = 5.32$). Changes in IMA remained significant until the study completion. Because of the recurrence, the investigators recommended postponing the use of scarf osteotomy for HV deformity until the skeleton maturation.

John, S. and colleagues believe that scarf osteotomy is a safe, effective and universal procedure for juvenile and adolescent valgus deformity correction [117].

1.4.1. Indications and contraindications

Scarf osteotomy is indicated for the treatment of moderate or severe symptomatic valgus deformity, with IMA from 14 to 20 degrees, normal or slightly increased DMAA [28] and adequate bone tissue supply [59].

Although, there are no apparent age restrictions for the procedure, osteopenia in elderly patients may be a relative contraindication. Efficient bone density is important for osteotomy stability. Scarf osteotomy is contraindicated with the first metatarsophalangeal joint arthrosis, limited range of motion in the joint and the first metatarsal-cenuiformis joint hypermobility [59, 134, 174, 222].

1.4.2. Additional osteotomies during scarf procedure

It is not always possible to correct a deformity completely with a single metatarsal osteotomy. The high incidence of recurrence after isolated scarf osteotomy prompted Akin osteotomy (the first toe proximal phalanx osteotomy) to be additionally performed in many cases [5, 43]. Nevertheless, whether to perform additionally Akin osteotomy remains the surgeon's decision; clear recommendations on its indications are still missing, although some authors consider Akin osteotomy mandatory for the big toe bursitis the correction [127, 128, 137, 158]. Kaufman G. and colleagues recommended to perform additional Akin osteotomy with a preoperative PDPAA of more than 8 degrees [123].

Weil osteotomy is a surgical technique commonly used to treat minor changes of the forefoot metatarsal. This includes minimally invasive subcapital osteotomies of 2, 3 and 4 metatarsal bones for the foot transverse arch correction. In recent years, a large number of articles evaluating the technique effectiveness and possible complications have been published. However, despite the effectiveness in pain reduction was shown in clinical studies for 80-90% of patients, the incidence of reported complications was relatively high in some series of studies. An article by Huerta, J. P. and colleagues examines the results of clinical, radiological, laboratory and cadaver studies. This allows consistent evaluation of all Weil osteotomy aspects, especially its indications, mechanical effects, modifications and possible complications [110, 203].

1.4.3. Scarf osteotomy difficulties and complications

Scarf method was shown to provide effective and reproducible relief of HV deformity symptoms even in most severe cases. However, the procedure has a number of "pitfalls". This is evidenced by studies of Bock et al. published in 2015 [43], which demonstrated scarf osteotomy association with a very high recurrence rate. However, the recurrence incidence could not be considered convincing evidence that this is procedure-related. The operation precise performance is assumed to be problematic when mastering

the technique. Recurrence is a common complication with the incidence range from 4% to 78% [116].

Deformity recurrence. The cause of HV deformity is quite often multifactorial. The patient anatomical specificities, shoes, or surgical technique-related factors - all of these combined could result in complications [192].

Although most recurrences occur within 1.5–2.8 years postsurgery, a longer follow-up period might have contributed to more frequent recurrence detection [43, 116]. A retrospective cohort study by Bock et al. included a 10-year follow-up and reported a recurrence rate of 30%; although, they defined the recurrence as a HV angle >20 degrees both symptomatic and asymptomatic [43]. Jeuken et al. reported scarf osteotomy to be associated with a very high recurrence rate [116]. However, the recurrence incidence could not be considered convincing evidence that this is scarf osteotomy-related. In addition, Bock P. et al. reported that symptomatic and asymptomatic recurrences are not generally distinguished within the studies, therefore surgeons are recommended to use terminology more correctly when describing symptomatic recurrence cases and differentiate them from those with HVA is higher than normal, but the patient does not have pain symptoms and thus could be considered asymptomatic [43]. Such a potential complication of mild and moderate HV correction as the first metatarsophalangeal joint residual stiffness was also reported and, according to the literature, occurs in 11%-41.7% of cases [59, 101].

“Troughing” occurs when the cortical layers of the two halves of the metatarsal diaphysis are wedged into the softer spongy bone [177]. In this case, a lateral displacement of the distal segment occurs [144, 214]. “Troughing” develops as the cortical layer of the first metatarsal bone dorsal half is destroyed and wedged into the softer spongy bone. This leads to the first ray functional rise and subsequntly to the foot permanent pronation with other metatarsal bones overloading. Coetzee J.C. and Rippstein P. [59] reported that this process could occur both with and without the first metatarsal rotation. Previous studies have reported the “troughing” incidence from 1% to 35% [58]. “Troughing” causes the first ray dorsiflexion and could lead to metatarsalgia or

overloading. To avoid this complication, osteotomy should be performed in the metaphysis spongy bone with the correct position of its plane.

This effect has been well described by Coetzee, and solutions have also been proposed on how to avoid it [59]. Coetzee found it extremely important to create short osteotomy shoulders (3 mm). The distal osteotomy shoulder should pass close enough to the joint to avoid “troughing” of the cortical crest into the soft intramedullary spongy bone. Other authors have also described modifications of the method to avoid this complication [177].

“Troughing” is especially relevant when working with osteoporotic bones. Murawski et al. described a method of the distal and proximal osteotomy shoulders axes intersection in the first metatarsal osteoporotic bone to prevent the “troughing” [177]. This ensures adequate cortical intersection and thereby eliminates the linear overlap between the first metatarsal cortical layers and the softer spongy bone. However, this method limitates IMA correction.

Stress fracture. This complication usually occurs in the proximal metatarsal in the transverse incision area. If the remaining dorsal cortical layer is too thin, a stress fracture may occur. In addition, the stress fracture is usually a consequence of the osteotomy performed in a wrong direction. The dorsal the osteotomy proximal apex is, the thinner is the dorsal bone bridge. This increases the stress fracture risk. Based on their previous experience, Newman A.S. et al. [180] reported the stress fractures incidence of 3%. In particular, complications such as “troughing” and stress fracture are more common during the learning curve [28]

Avascular necrosis. The scarf procedure requires extensive impact on the bones and could potentially disrupt the plantar blood supply to the metatarsal head, which increases the risk of its necrosis [44]. This complication after scarf osteotomy is rarely described. According to the literature, out of 3521 patients who underwent scarf osteotomy, only 6 developed avascular necrosis of the head as a complication [28].

Thus, the scarf osteotomy does not lead to a clinically significant incidence of the first metatarsal bone head necrosis.

Reduction of the first metatarsophalangeal joint range of motion. There are reports that a range of motion reduction in the first metatarsophalangeal joint occurs less often than with other osteotomies, this is probably due to the ability of early exercise. Crevoisier et al. reported reduced range of motion in 65% of patients in their series of studies. The authors believed this was due to the improper length of the first ray [68].

Scarf osteotomy technique provides effective and reproducible relief of HV deformity symptoms even in most severe cases. However, the procedure has a number of "pitfalls". First of all, this is due to the performance technique. This is evidenced by the published studies demonstrated scarf osteotomy association with a very high recurrence rate. However, the recurrence incidence could not be considered convincing evidence that this is procedure-related. The operation precise performance is assumed to be problematic when mastering the technique, which requires learning of different methods for skills improvement. The issue of correct bone filling could be solved in two ways: navigation devices use and surgeons advanced training. The most accessible and efficient type of navigation is directional templates with three–dimensional printing technology, which are described further.

1.5. Current three-dimensional printing advancements in traumatology and orthopaedics

Charles Hull is believed to be the first one who use three-dimensional printing technology (which he called “stereolithography”) in the early 1980s [92]. Hall, who has a bachelor's degree in engineering physics, later founded 3D Systems company, which developed the world's first 3D printer, named a “stereolithographic apparatus” [50, 238]. This technology describes and creates three-dimensional objects, constructing them layer by layer. This is the fundamental difference between this process and traditional milling or turning, in which the workpieces are formed in seemingly by removing excess material.

The new technology was initially applied in automotive and aerospace industries. There, 3D printing has long been used for “rapid prototyping” in the components

development and production. Today, the technology is used in many other industries, including various fields of medicine, where three-dimensional modeling and printing procedures could be introduce to many areas and promise to improve treatment results. Three-dimensional printing use is applicable the most for the diagnosis and treatment of complex cases, especially in traumatology and orthopaedics, as it is important to determine the spatial relationships of the skeleton parts affected by injury or disease. Due to the accurate reproduction of pathological changes in three-dimensional space, this technology could provide significant progress in understanding, planning and performing reconstructive operations in such cases. Recently, the interest in three-dimensional printing and publication activity on it in traumatology and orthopedics increased significantly, which proves the technology relevance [229]. This is, in particular, due to the fact that 3D printing methods do both - create models for a better understanding of the complex anatomy and pathology of patients [160], but could also help customized devices [51, 97, 216, 234] or even implants creation for each patient [32, 87].

1.5.1. Customized project modeling

"Customized modeling" term is often used, but does not have a clear definition. An orthopaedic surgeon could intuitively treat this as a unique bone geometry, which is evaluated using various imaging methods [4]. Other factors, such as material properties, orthopedic implants design or individual patient force application, could be taken into account when determining the treatment tactics for a "customized project". In biomedical engineering, customized modeling (CM) is a computer model development for a patient altered anatomy area adapted to an individual project data [178]. Currently, CM is attracting more and more attention because of its potential in optimizing individual treatment by predicting the results of surgical interventions.

Imagining for 3D objects creation. To analyze the clinical situation of a customized project in a software environment, it is necessary to obtain accurate medical imaging data. Modern multi-detector row computed tomography (MDCT) and magnetic resonance imaging (MRI) detectors produce fast and accurately high-resolution three-dimensional images. The images post-processing tools allows creation of multi-plane reformatted 2D images and 3D images of the patient's anatomy. Rengier and colleagues described in detail radiological diagnostics digital data conversion into a three-dimensional physical object [194]. The transformation consists of three consecutive stages: 1) imaging, 2) image post-processing and 3) 3D printing.

To create three-dimensional objects, MRI and computed tomography (CT) of high quality is required. CT as an imaging method in traumatology and orthopaedics is preferred in cases where bones are of visualizing examination interest. MSCT ability to produce an axial image of a thin slice of less than 1 mm thick is also important. These high-resolution CT images are the best for post-processing facilitation in three-dimensional environment processing programs [71].

A MRI advantage is the absence of radiation during the imaging. This method is superior to CT in visualizing soft tissues anatomy, such as articular cartilage in joint diseases and intramedullary or soft tissue invasions in bone tumors. However, it is more difficult to obtain thin MR slices of 1-2 mm thick for image post-processing, since MRI image quality could be negatively affected by motion artifacts occurred during prolonged scanning. Therefore, data post-processing within the software is mainly based on CT images supplemented with information on tissues obtained via MRI examination. All received images are stored in the Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) format, which is an international standard for storing, exchanging and transmitting radiology data [233].

Image post-processing. Image post–processing is the most important stage of object preparation for printing. Despite the quality of data obtained from the DICOM format is a key determining factor for the quality of future object, the format is not aimed for

printing directly. Firstly, the engineer must detect and correct segmentation defects, and secondly, the printer requires its own StereoLithography, STL file format. Image post-processing software extracts DICOM images for data reconstruction. Computer-aided design (CAD) software transforms 3D model contour into a series of polygons, usually triangles, the number of which is directly related to the original resolution, which is where DICOM image quality is important. Further editing of StereoLithography (STL) files, for example, triangular grids optimization or object geometry modification, could be performed prior to sending the CAD data to the 3D printing machine for the object production. Competent work with triangular grids prevents errors of the printer producing the object [218].

Three-dimensional printing. The CAD software analyzes the STL file of the 3D model to be manufactured and "splits" the model into a number of cross-sectional layers. The 3D printing machine then produces a physical 3D model by adding successive layers of material to recreate virtual cross-sections. 3D printing technologies used in medicine could be classified according to the manufacturing method. These are mainly stereolithography (SLA), fused deposition modeling (FDM), selective laser sintering (SLS) or electron-beam melting (EBM). In SLA printing, an object is created by selective solidification of polymer resin, layer by layer, using ultraviolet (UV) laser beam. The materials used in SLA printing are photosensitive thermosetting polymers that are available in liquid form. In FDM solid-state 3D printing technology, small balls of molten thermoplastic materials are extruded from a small nozzle and subsequently solidify to form layers. SLS or EBM powder-based 3D printing technology involves the use of a focused laser or electron-beam to selectively fuse small particles of plastic or metal on the surface of the powder layer. The focused energy scans each layer according to the cross section created from the three-dimensional object STL file. The powder layer is reduced by one layer after scanning each cross section. Then a new layer of material is applied on top, and the process is repeated until the manufacture is completed. Unlike other 3D printing technologies, such as SLA and FDM, which require special support structures for overhanging pieces manufacturing, SLS or EBM do not require such, since the model in produce is surrounded by unsintered powder all the time.

Stereolithography (SLA) is also a technology allowing to print the lumen of hollow vessels that are not filled with solid bearing material. Fused deposition Modeling (FDM) is the most common technology in practice and is widely used by investigators in 3D printing for medical purposes studies. In particular, the method is used for rapid prototyping, for example, when creating a certain bone model. Selective laser sintering (SLS) and electron-beam melting (SBM) are widely used for 3D printing of implants, fixators, custom-made devices and guiding elements [170].

1.5.3. Anatomical models for surgical planning

Physical models of patient bones could be recreated based on computed tomography data of the patients using 3D printing. The models not only allow surgeons to understand tactilely and visually the anatomy and pathology of an individual clinical case, but also to anticipate difficulties and various options for the upcoming operation, which will help in planning a traumatological or orthopaedic surgical intervention. The use of three-dimensional physical models is especially helpful in the surgical treatment of complex intra-articular fractures and their consequences, such as acetabulum fractures [49, 112, 129, 182]. The technology use allows to better understand such fractures and to classify them more efficiently [226].

In addition, 3D printing technology allows modelling of a metal structure and alteration of its spatial configuration so that the implant shape matches the patient bone shape before the operation [112].

Individual models for each patient, manufactured with a 3D printer, could also be sterilized so that the surgeon is able to manipulate them during the operation. This would allow the altered anatomy understanding intraoperatively and much better tissues locating in complex operations, such as bone tumors resection [112].

1.5.4. Custom-made devices

3D printing technology allows customized devices manufacturing for each specific clinical case. Custom-made devices are already used in traumatology and orthopaedics. For example, there is data on periacetabular osteotomy preoperative planning optimization in hip dysplasia treatment with custom-made devices [30, 147] Such devices were also used to predict the results of scoliosis corrective surgery [136, 228] , as well as of bone reconstruction with customized implant after pelvic tumor complex resection [235]. The use of custom-made devices has been reported for transpedicular screws installation in cervical or thoracic spine surgeries [154], for complex osteotomies for fractures improper fusion deformity correction [171, 216], and for total knee and hip arthroplasty [51, 102, 181]. In addition, the use of such practice has been described in bone tumors surgery. This contributed to both bone resection precision during tumor-affected tissues removal [97] and efficient bone defect replacement with a customized implant [234, 235].

However, various technical difficulties are possible when using custom-made devices. One of these is the risk of incorrect device placement on bone surface. The bone should be prominent or rough enough to fix the device securely. In addition, accurate bone segmentation based on the preoperative imaging dataset (CT or MRI) is important for displaying the actual bone anatomy for the device design. During hip replacement surgery, osteophytes provides bone roughness [135]. A device installed imprecisely could lead to distortion of the operation parameters, which were pre-calculated correctly. Obviously, the exact intraoperative placement of custom-made devices depends mainly on a surgeon subjective feeling. At the same time, there is currently no data on the size of bone contact area sufficient for custom-made device consistent positioning [234]. Possible intraoperative methods for correct custom-made device position quantitative verification have also not been determined [135]. Nevertheless, surgeons may use additional guiding devices to install custom-made devices precisely [235] , or computer navigation [232] to reproduce the same resection planes that are prespecified in the design software, which complicates the surgery and increases operative time significantly.

Of note, computer navigation is an alternative method to custom-made devices use. Each of these technologies has its pros and cons. For instance, computer navigation methods require cumbersome navigation equipment. Printed custom-made devices have a potential advantage here, since they improve surgical accuracy with neither increasing the operative time nor distracting attention from the surgical field. On the other hand, 3D printing technology also requires special equipment, as well as time to produce c fracture models, customized devices and implants, which limits the technique application in emergency surgery. Compared to computer navigation, the customized device use does not provide preoperative images intraoperative visual feedback for errors identification [145, 237]. Nevertheless, the use of custom-made devices is obviously impractical when performing standard operations with a refined technique in routine clinical practice. This was proven by two recent meta-analyses, which did not confirm the effectiveness of customized devices in routine total knee replacement, since they were not shown to provide superior precision compared to the conventional hand tools used [55, 226].

The situation is similar in the use of customized implants. Commercially manufactured implants of standard sizes and shapes are manufactured using traditional manufacturing methods. They allow you to perform most surgical operations in traumatology and orthopedics with high quality. However, there is a small proportion of patients for whom standard implant configurations are not optimal. It is in these cases that the production of customized implants based on specific data of the patient's radiation diagnosis is shown. Such implants could be indicated when there are no standard sizes required by the patient, replacement of a non-standard bone defect is required, for example, during resection of a bone tumor, and a better adaptation of the implant to the anatomical features of the patient is also necessary [194]. Indeed, 3D-printed implants for correcting a defect after tumor removal could be an ideal reconstructive solution, since they could be adjusted to various forms of bone defects after tumor resection. The effectiveness of this practice has been shown in the reconstruction of tumors of the clavicle, scapula, and pelvic bones [87, 235].

Although the potential clinical characteristics of custom-made 3D-printed implants are attracting attention due to their ability to solve reconstructive problems that go beyond

standard implants, the limitations of this new technology should be noted. Issues include the high cost of implants, the time required for design and production to meet the deadlines for surgical intervention, the lack of intraoperative flexibility and the difficulty of achieving precise implant placement [232]. The latter is clearly illustrated by the work of Baauw M. and colleagues in 2015 [32], which reported the results of 16 patients treatment with large acetabulum defects who underwent revision hip replacement using customized trabecular titanium implants printed on a 3D printer. The implants were developed based on patients CT images detailed analysis with special attention paid to bone tissue quality and defective acetabulum geometry. The implant consisted of a porous augment and a frame recreating an artificial acetabulum. Flanges were added to the design for optimal screw fixation to the remaining pelvic bone. Auxiliary devices and tools were provided for preoperative preparation and during the surgery, such as the pelvis halves physical models printed on a 3D printer, trial implants and drilling templates. The authors reported difficulties with the customized implants precise installation according to planned in 7 of 16 cases, where the implants were found to be incorrect in one or more measurement parameters [32].

The customized implants production takes time. However, owing to computer design software and 3D printing technology advancements, biomedical engineers and implant manufacturers could integrate the entire planning process from 3D image data processing to complex customized implants creation through close collaboration with surgeons. Thus, the implant production time could be shortened. However, subsequent processing technical aspects, such as surface finishing and frame grid cleaning of metal powder, would not allow significant reduction in customized implants production time. In addition, sterilization of implants made of non-temperature resistant materials could become a serious problem for their intraoperative use [236].

The initial cost of customized implants is obviously higher than that of ready-made structures. However, 3D printing could create customized implants with structural geometry that would not be possible using traditional industrial production techniques, regardless of costs. In addition, custom-made implants potentially have excellent long-term characteristics, which could reduce the number of expensive revision surgeries.

Thus, it is necessary to evaluate the costs taking into account the total expenses of preoperative planning, implant designing and manufacturing, surgery and long-term clinical results [232].

1.5.5. 3D printing application in traumatology and orthopaedics

Today, standard 2D radiographs are routinely used for preoperative planning of extra–articular fractures osteosynthesis operations. If the intra-articular fracture is evident or suspected, computed tomography is used as the generally accepted diagnostic standard. At the same time, frontal, sagittal and coronary sections, as well as 3D images examinations are necessary for high-quality preoperative planning, it is necessary to study [53].

Today, surgeons often use 3D printing technologies in addition to conventional radiography and CT for preoperative planning and intraoperatively. In 2019, Xiang Lian and colleagues conducted a meta-analysis [244] , which included four randomized controlled trials, four retrospective comparative studies and two prospective comparative studies involving 521 patients. Compared with traditional surgery, 3D printing surgery resulted in a shorter operative time ($p<0.001$), less intraoperative blood loss ($p<0.001$) and fewer intraoperative X-rays ($p<0.001$). However, 3D printing surgery leads to a longer hospital stay ($p = 0.03$). No statistically significant results were obtained for fracture healing time, excellent and good results frequency, anatomical reposition and complications incidence.

In 2021, Dong-Peng Tu and colleagues compared the clinical results of 3D printing combined with Open Reduction Internal Fixation (ORIF) versus traditional ORIF for acetabulum fractures treatment. Compared to traditional ORIF, 3D printing in combination with ORIF had certain advantages as it not only helped surgeons to understand better acetabulum fractures, but also reduced effectively the operative time, intraoperative blood loss, intraoperative X-ray time and postoperative complications

incidence. However, there were no significant differences between the groups in hip joint function according to the Matta scale at the end of the follow-up period [224].

In 2018, Linzhen Xia and colleagues conducted a meta-analysis of 11 randomized controlled and 6 prospective comparative studies to assess the impact of 3D printing technology on the tibial plateau fractures ORIF. The analysis showed significant differences in operative time, intraoperative blood loss and bone fusion time between the 3D group and the traditional group. No significant differences were found for complications and further function recovery, assessed as “excellent” and “good” according to the HSS and Rasmussen scales [243].

Moreover, 3D printing technologies are actively used in customized guiding templates manufacturing for osteotomies. For instance, in 2018, Gareth G. Jones and colleagues reported preliminary results of high tibial osteotomy using a guiding template. The authors assumed that devices designed for a specific patient in the hands of experienced surgeons could increase precision in comparison with traditional approaches. The authors also suggested 3D planning and patient-customized equipment facilitate multi-plane angular correction, which is especially difficult when using conventional methods. The real interest, on the investigators opinion, would be to check whether the surgeons mastering the technique with patient-customized equipment could provide a similar level of precision[119].

In 2016, Peng Yang and colleagues performed osteotomies using 3D printing for improperly fused tibial plateau lateral condyle fracture. According to the study results, the difference between the preoperative and postoperative Rasmussen scores was statistically significant ($p<0.05$). Improvement of functional results was achieved in all patients. The authors believed that 3D printing technology helped to accurately plan the osteotomy operation, reduce the risk of postoperative deformity recurrence, reduce intraoperative blood loss, shorten operative time and affect clinical results positively [245].

In 2021, Francisco B. Sobrón and colleagues used a surgical template 3D printing for the hollow foot middle part osteotomy. The authors claimed that customized 3D-printed guiding element helped the surgeon to minimize iatrogenic errors, increasing

intraoperative accuracy, while simultaneously reducing operative time and intraoperative X-ray irradiation[209].

In 2021, João Carlos Belotti and colleagues noted in their study that corrective osteotomy with 3D printing planning is an effective method for symptomatic distal radius fusion disorders treatment. Preoperative osteotomy on a 3D model makes the procedure more predictable [38].

1.5.6. Application of 3D printing in education

Three-dimensional modeling thus begins to be applied in the process of teaching manual skills by a surgeon. Today, printed models are widely used in various fields of healthcare. The simulator is able to create a safe, reliable and controlled environment for the student to practice in a leisurely atmosphere without risk to the patient. Also an important aspect of three-dimensional modeling is that it is possible to create an individual case that is most interesting for the educational process [173].

Uygur E. and colleagues [225] in a study in 2020 noted that 3D modeling with the creation of a printed model of foot deformities is more informative than virtual 3D modeling. However, considering the costs and long processing time, 3D printing can be optimally used for rare deformations. When considering the role of sensory perception in surgery training, 3D modeling provides more detailed and more effective planning than virtual modeling. 3D modeling using printing is more useful for young surgeons, and in the future it will be used mainly for training.

Lim P.K. and colleagues in 2018 [148] have studied the possibility of using 3D printed models to improve the understanding of acetabulum fractures and to be a valuable addition to the training of orthopedic trauma residents. According to the results of the study, 3D models improved the accuracy of identifying acetabulum fractures compared to radiography. In addition, residents could use 3D models to obtain similar accuracy by computed tomography. The authors concluded that the inclusion of 3D models can be an

important addition to training in the residency in traumatology and orthopedics for the assessment of complex fracture models.

Weidert S. and colleagues in 2019 [229] reported the preliminary results of their research. In it, the authors show that understanding and classification of fractures can be improved when teaching medical students. It is especially interesting to use life-size models of real fractures and tactile sensations for training. Even experienced surgeons demonstrate improved classification and treatment planning using 3D-printed models compared to conventional computed tomography data. Especially in complex articular fractures, such as acetabulum fractures and tibial plateau fractures, initial data indicate benefits for patients in terms of reducing surgery time and blood loss using 3D models. The use of 3D printing on site in a hospital is of particular interest for orthopedic and trauma surgery, as it promises to provide products in a short time.

The development of image processing and 3D printing technologies discovers many opportunities for customized projects in traumatology and orthopaedics. They are useful, in anatomical models creation for preoperative planning in case of complex intra-articular fractures or injury consequence such as improperly fused fractures or bone defects. In addition, the use of customized guiding templates for osteotomies in orthopaedic surgeries for various deformities correction and joint replacement is promising. Another direction of development is the use of customized implants made on a 3D printer. 3D printing technology is also indispensable in surgeons training. Undoubtedly, its widespread implementation will improve the quality of operations performed by young surgeons mastering the technique.

However, the limitations, including the need for special equipment and consumables, the high cost of instruments and implants, the long production time and the lack of intraoperative flexibility, should also be taken into account. Further development of 3D printing technology with simultaneous objective study of the technology clinical effectiveness will minimize its shortcomings and determine its place in practical traumatology and orthopaedics.

Thus, it could be assumed, the use of three-dimensional planning method with a guiding template creation for the forefoot light and medium HV deformities correction

will contribute to a more efficient osteotomy due to correct sawing. This will allow the surgeon to master the technique much faster and improve operative skills.

1.6. Resume

The analysis of current scientific literature has shown the forefoot Hallux Valgus deformity is a multifactorial pathology and consists in both normal bone anatomy alteration and surrounding soft tissues changes. The treatment goal is to normalize the anatomical relationships of the main bone structures responsible for the proper foot functioning during functional loading. These are, first of all, the heads of the first and other metatarsal bones forming the transverse arch of the foot. There are many ways to achieve the foot anatomy normalization. These are various modifications of proximal and distal osteotomies, as well as arthrodesis of the first metatarsal-cuneiformis joint. All of them lead in particular way to the first metatarsal head lateralization. The world experience analysis has shown that scarf osteotomy is the most commonly used for corrections. The technique is clear, relatively simple in execution, and allows osteotomized fragments stable fixation. In addition, this operation is a standard procedure and after the training stage could be replicated by a surgeon efficiently. The question is how quickly a beginner would master the surgery technique. Whether the modern additive technologies, widely used in other orthopedics, could be applied in the forefoot deformities surgery and improve the clinical outcomes of the operation performed by a surgeon mastering the scarf osteotomy is also of interest.

This experimental clinical study is devoted to answering these questions

CHAPTER 2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Dissertation study general characteristic and structure

The dissertation study consisted of two parts: experimental and clinical. Both parts of the study were logically connected and complemented each other mutually.

The experimental part included several stages. First, a three-dimensional planning method with a guiding template production was designed for the surgical treatment of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity. Then, 54 patients underwent multispiral computed tomography (MSCT, a detailed examination description is provided in 2.3.5 Patients examinations section of the current chapter). A virtual model of the foot was created based on the MSCT data. Calculations for the planned deformity correction were carried out in accordance with the model and the prespecified three-dimensional planning method, target IMA and HVA were defined, as well as the design of a customized guiding template for the first metatarsal osteotomy. After all the calculations were performed, a customized foot model with the initial deformity and a customized guiding template for first metatarsal osteotomy were printed for each patient. Further, deformity correction was performed on printed plastic models using customized guiding templates, followed by osteotomized fragments fixation with headless compression screws. After the correction, plastic models radiography was performed and postsurgery IMA and HVA were calculated. The obtained measurement results were compared with the virtual model correction parameters. The structure of the study experimental part structure is schematically shown in Figure 2.1.

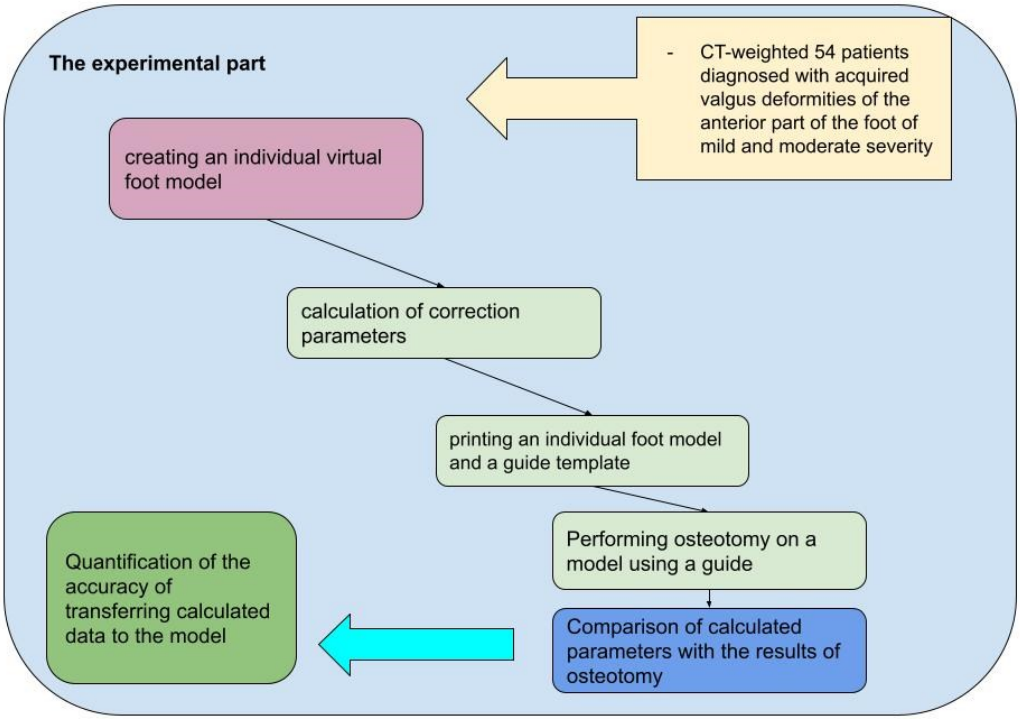


Figure 2.1. Dissertation study experimental part structure.

The clinical part of the study was divided into 4 stages. The entire study was performed based on clinical and radiological data examination of patients with the forefoot acquired HV deformity of mild and moderate severity who were treated in the St. Petersburg University's Clinic of High Medical Technologies the second Traumatology department from April 2018 to June 2021. A total of 367 patients were included in the clinical study.

At the clinical study first stage, the accuracy of transferring the virtual environment preoperative planning results and the printed plastic model deformity correction results to the real surgeries results performed with customized guiding templates was investigated. For this purpose, surgeries were performed in 54 patients who got virtual planning and customized printed models and guiding templates during the experimental part of the study. The obtained correction results were compared with the virtual environment planning results and the customized plastic models osteotomy with customized guiding templates results (Figure 2.2).

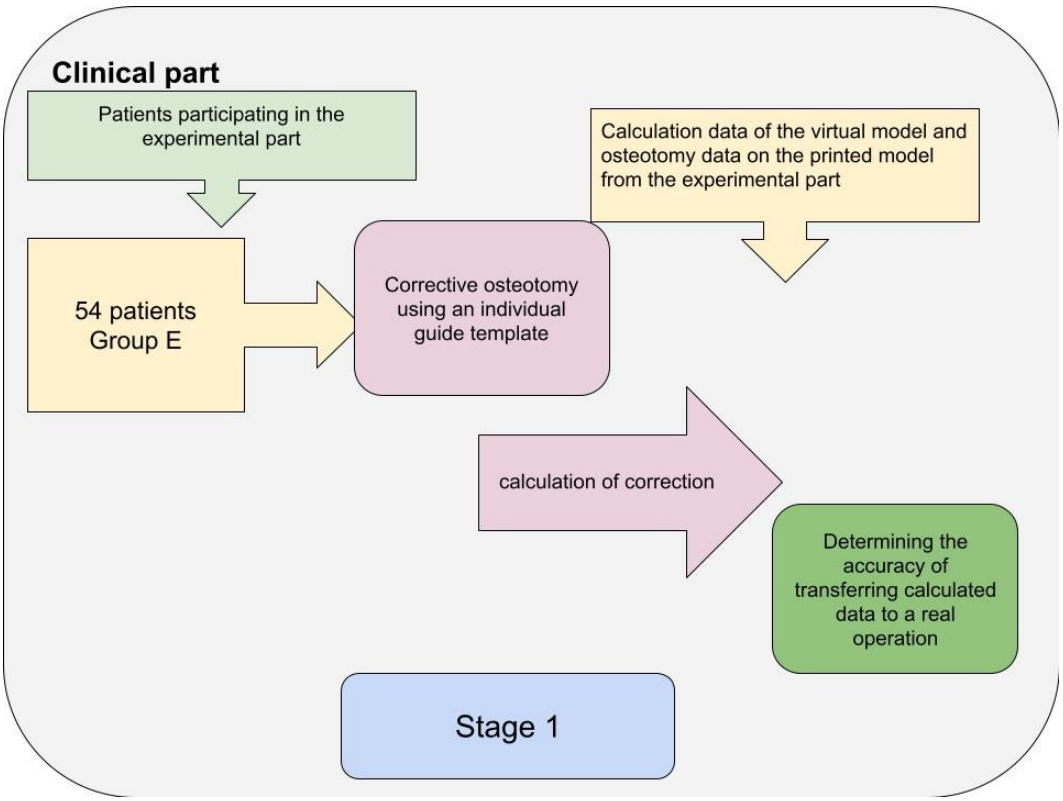


Figure 2.2. Dissertation study clinical part stage 1 structure

When the efficiency of the developed three-dimensional planning method with a customized guiding template production and its fundamental potential to be used in clinical practice were proven, the second clinical study stage was performed. During this stage the efficacy of the proposed technology was studied for the first metatarsal corrective osteotomy performed by an experienced surgeon for the forefoot mild and moderate acquired valgus deformity. For this purpose, the patients were divided in two groups. The first clinical group included 29 patients (29 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning without additive technologies use and a customized guiding template production; all calculations were performed by traditional methods with planning based on two-dimensional radiographs. The second clinical group also included 29 patients (29 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning using additive technologies with customized guiding template production, which was used during the surgery (Figure 2.3).

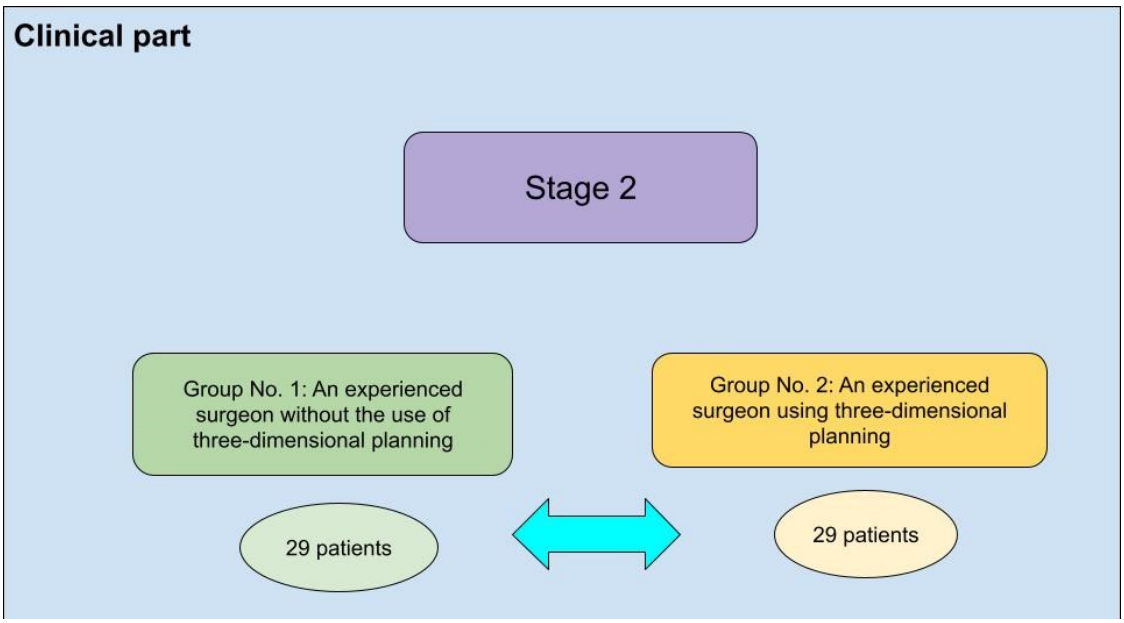


Figure 2.3. Dissertation study clinical part stage 2 structure

At the third and fourth clinical study stages, operations for the forefoot acquired valgus deformity of mild and moderate severity were performed by a surgeon mastering the technique. The third, fourth and fifth groups of clinical study patients were consistently formed to assess the anatomical and functional results of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity operative treatment performed by a surgeon mastering the scarf osteotomy both with and without three-dimensional planning use or a customized guiding template creation and use.

At the third clinical study stage, the anatomical and functional medium- and long-term results of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity operative treatment were evaluated if performed by a surgeon mastering the scarf osteotomy and an experienced surgeon using the traditional method without three-dimensional planning or a customized guiding template creation.

To determine the baseline experience level of the surgeon mastering scarf osteotomy, a third clinical study patients group was formed, which included 34 patients (34 feet) operated on by the surgeon. Patients in this group underwent a set of preoperative planning without additive technologies use for a customized guiding template production, all calculations were performed by the traditional method with of the feet two-dimensional radiographs-based planning.

To compare the baseline skills level of an experienced surgeon and a surgeon mastering the technique, the clinical results were assessed of the first and third study groups, which included the results of patient treatment with scarf osteotomy with the traditional method without three-dimensional planning or a customized guiding template use (Figure 2.4).

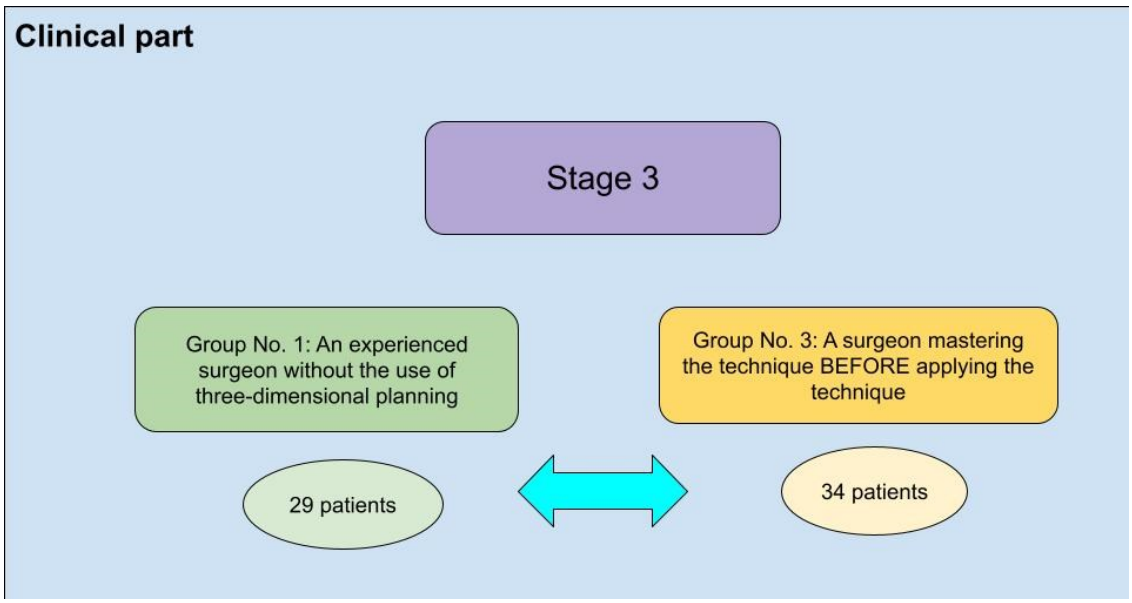


Figure 2.4. Dissertation study clinical part stage 3 structure

The fourth clinical study stage showed the impact of the proposed preoperative planning method application and a customized guiding template use during an operation on a surgeon mastering the technique performance quality. For this purpose, the fourth and fifth clinical study patients groups were formed. The fourth clinical group included 34 patients (34 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning with additive technologies use for a customized guiding template creation, which was used during the operation. The operative results dynamics in this group showed the progress of surgical skill by the surgeon mastering the technique with three-dimensional planning and a customized guiding template use. The impact of this progress was demonstrated by the fifth clinical study patients group formed subsequently after the fourth group and included 187 patients (187 feet). For patients in this group, all calculations were

performed using the traditional method with two-dimensional radiographs-based planning (Figure 2.5).

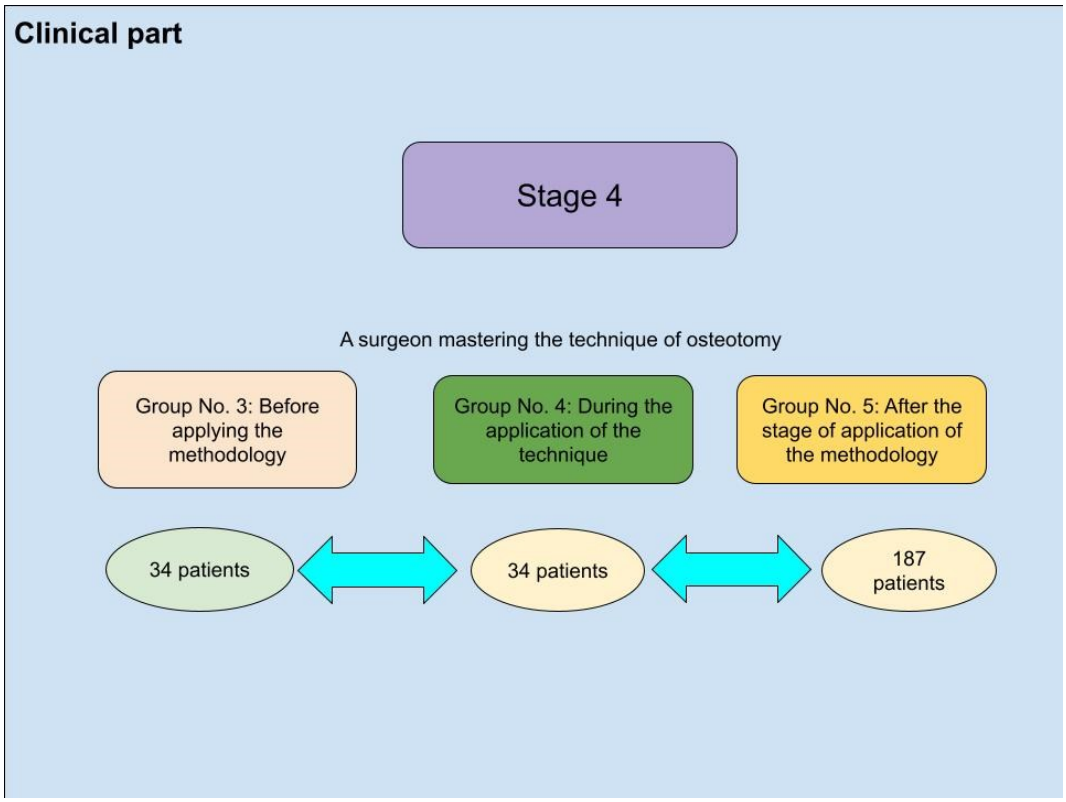


Figure 2.5. Dissertation study clinical part stage 5 structure

Thus, the design of the study allowed developing a three-dimensional planning method for the first metatarsal corrective scarf osteotomy with a customized guiding template creation for the forefoot acquired valgus deformity of mild and moderate severity. The developed method was introduced into clinical practice and its impact on performance quality of an experienced surgeon and a surgeon mastering the technique was determined, which allowed consistently achieving all the dissertation study goals.

2.2. Experimental study part

2.2.1. Three-dimensional planning with a customized guiding template production method development

The preoperative planning protocol included the following data collection: the foot computed tomography with loading, the foot segmentation, initial deformity calculation, correction calculation, guiding template designing, customized foot models and guiding osteotomy templates printing. The obtained data were processed with the "Materialise 3 matic" and "Materialise magics" anatomical 3D models analyzing software on computers using the Windows operating system. The foot models and guiding templates printing was carried out on Stratasys 3D printers using PolyJet technology.

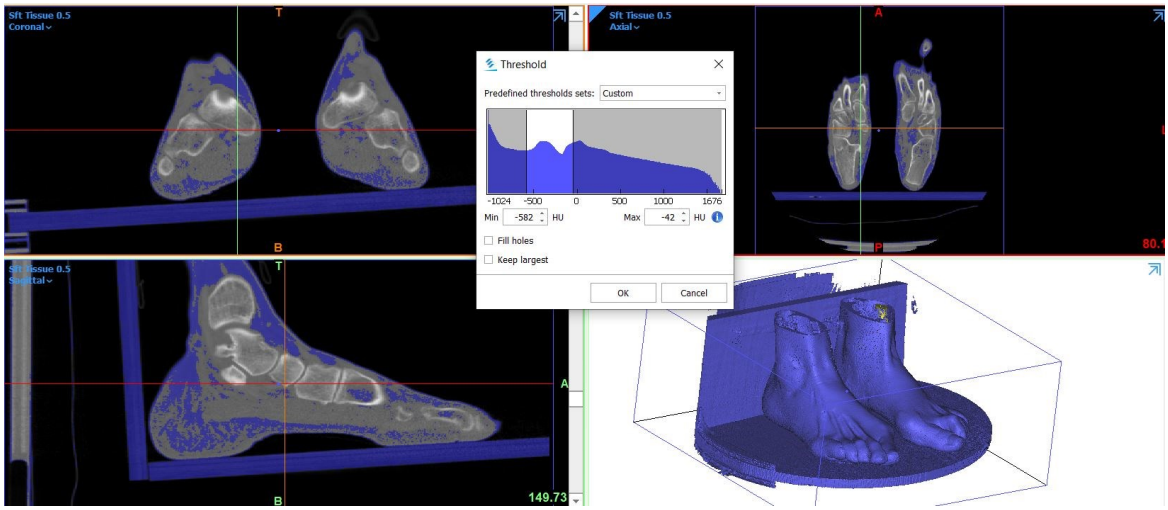
Weighted computed tomography. Patients who were assigned to a three-dimensional environment surgery planning underwent loading MSCT on a Toshiba Aquilion 64 computed tomograph with a slice distance of 0.5 mm, which was necessary for the subsequent accurate construction of a solid-state model. To recreate the feet loading, an analogue of the invention was used, created by Ternovoy S.K. et al.[21]. The patient was placed on the tomograph table in a supine position, with feet facing the Gentry aperture. The patient's legs were placed on a special platform. The patient was given dynamometer belts, which were attached to the platform. The dynamometer measured a force applied on a body of one-kilogram weight in a standard gravitational field in kilogram-force mode. According to the device technical characteristics, the gram-force corresponding to the gravity of a body of one-kg weight in a standard gravitational field is 9.80665 N. The patient's body weight was divided in two using the same force for each arm (Arm force = patient's body weight/2 in kilogram-forces). The patient, lying on the table, pulled on the belt straps, while the investigator recorded the effort of each hand. As soon as the loading was reached, an examination was conducted. The principle of the loading application is shown in Figure 2.6. Tomography was started 4-5 cm above the ankle joint and finished at the level of the supporting device lower surface. After

performing the topograms in the sagittal and frontal projections, a series of slices were performed in the axial projection. The obtained data were stored in the DICOM format for their subsequent use when creating a virtual model of the scanned foot.

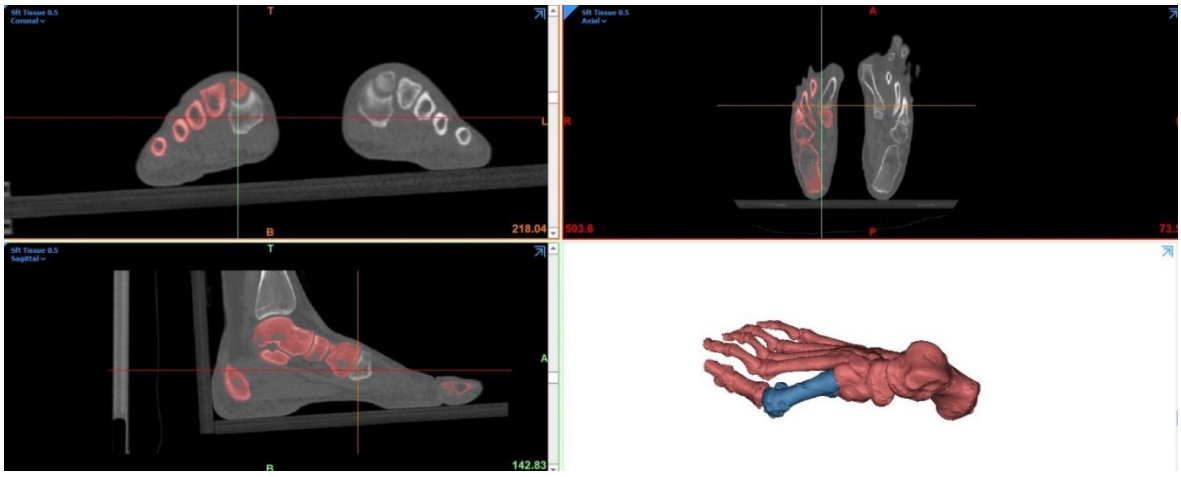
Figure 2.6. Principle of weighting application: 1- placement of the platform; 2 – the patient places the feet on the platforms; 3 – the patient lies down on the couch and creates a force on the platform, the dynamometer determines the impact force

2.2.2. Tissue segmentation, virtual model obtaining

The DICOM file was loaded into the Materialise 3 matic software. For segmentation and 3D imaging of bone structures, bone tissue was determined by the radiodensity scale (Hounsfield Scale) [72]. A segmentation algorithm was implemented using a standard software package (Figure 2.7).



A



B

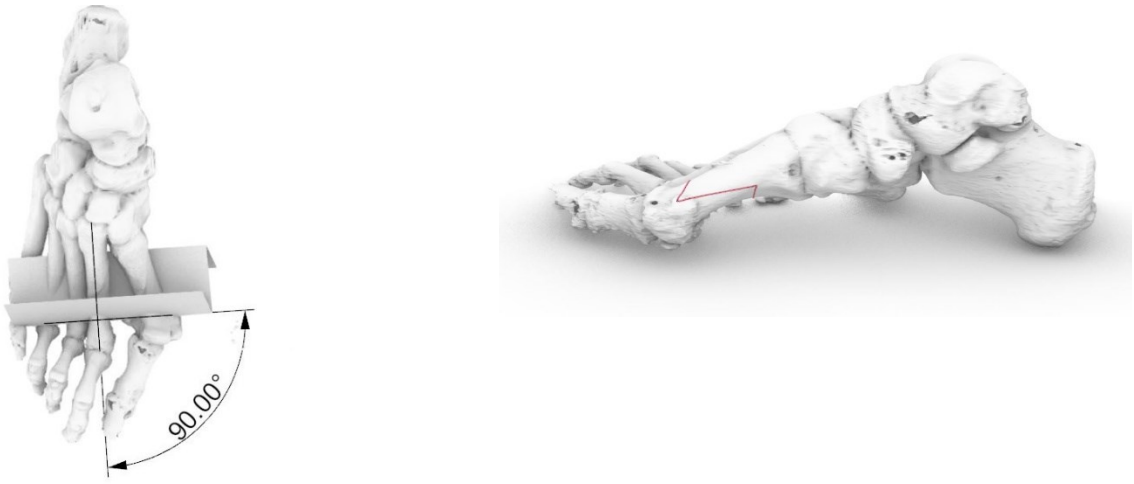
Figure 2.7. A. Segmentation parameters selection using the embedded algorithm. The selected tissues are indicated in blue; B. Layered segmentation of bone tissue based on radiodensity by the Hounsfield scale (red), the first metatarsal bone isolation (blue)

After the segmentation, manipulations were performed, including errors correction such as holes, triangular faces gaps, inverted normals, the printed part inside and outside content determination, and the model local and global smoothing. After that, a virtual model suitable for calculations was formed.

2.2.3. Visual procedure planning

After the virtual model was segmented and prepared, the operation was planned, deformity correction calculations were performed and the device installation directions were set. During the planning, the following indicators were determined: HVA and IMA, the correction calculations, the device installation directions planes, the need to lengthen or shorten the first metatarsal.

The osteotomy plane was set parallel to the first metatarsal bone the lower plane in such a way that the first line forming the plane passed through the head of the 4th metatarsal bone, and the second line was the axis of the 2nd metatarsal bone with 90 degrees between the lines. (Figure 2.8.A) [222]. Based on the selected planes, a preliminary osteotomy line was set (Figure 2.8.B).



A B

Figure 2.8. A. Initial osteotomy plane determination along the 2nd metatarsal bone axis and the 4th metatarsal bone head; B. Preliminary osteotomy line formation along the specified planes

The final set of the sawing planes direction depended on the need for the first metatarsal bone length altering. To determing this, the distal sawing fragment

displacement along the required displacement angle was modeled, after which the estimated length of the postosteotomy first metatarsal bone was measured.

The first and second rays ratio was estimated by the formula EL = P1-P2-D [150] in order to determine whether there would be the first ray excessive length (EL). The 2nd metatarsal bone elongation distance (D) was defined as the distance between the first transverse line perpendicular to the 2nd metatarsal bone axis passing through the bone distal point and the second line parallel to the first one passing through the first metatarsal bone distal point. The length of the big toe (P1) was defined as the distance between the tip of the distal phalanx and the base of the proximal phalanx. The length of the second toe (P2) was defined as the distance from the tip of the distal phalanx to the base of the proximal phalanx (Figure 2.9).

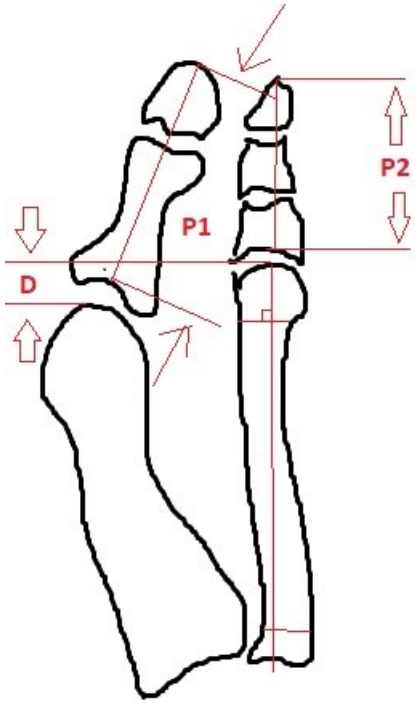


Figure 2.9. First ray excessive length EL determination scheme; D is the second metatarsal bone elongation distance; P1 is the big toe length; P2 is the second toe length [150].

It was believed that the first metatarsal shortening was required if the calculated P1>4.9 cm and the calculated EL>0.4 cm. This was to prevent the risk of the deformity recurrence. The values were selected based on the results of a study by Lex and colleagues [150].

Determination of the need for other metatarsal bones length change using additional osteotomies (see the additional osteotomies technique detailed description in section 2.4.3 Surgical technique), as well as the first metatarsal bone excessive shortening prevention was carried out based on data from a study of Domínguez-Maldonado G. and colleagues [80]. The recommended differences in the metatarsal bones length relative to the 2nd metatarsal are presented in Table 2.1. The method of the metatarsal bones length determination was based on the Hardy and Clapham method [103].

Table 2.1. Recommended differences in the length of the metatarsal bones relative to the second metatarsal (length relative to the second metatarsal, measured as a percentage; $\overline{x} \pm \sigma_x$) [80].

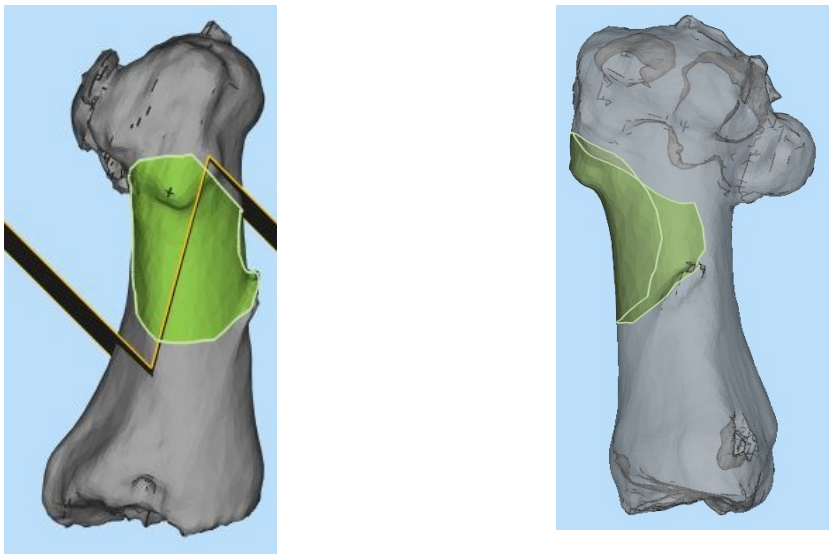
Parameter\Gender	Female	Male
II-I length	1.27 ± 1.88%	0.50 ± 2.35%
II-III length	−3.36 ± 1.04%	−3.77 ± 1.31%
II-IV length	−8.34 ± 1.69%	−9.57 ± 1.87%
II-V length	−15.54 ± 2.07%	−17.05 ± 2.64%

The conclusion on the need for additional Akin osteotomy (the 1st toe main phalanx osteotomy) was determined based on the HVIP angle measurement. In case of post-scarf osteotomy HVIP angle was more than 9°, the osteotomy was indicated [212].

2.2.4. Guiding template design

The guiding template contact spot with the first metatarsal bone surface was designed in such a way to overlapped with its own position due to the individual exostosis

configuration. This aspect subsequently changed the traditional operation procedure, since the exostosis was removed after the sawing (Figure 2.10).



A B

Figure 2.10. Guiding device contact spot determination: A - top view; B – side view

In order to avoid potential customized guiding template deformations, a standard reusable saw guiding device was used, namely, the Integra Life Ciences Corporation “Osteoguides” device, which was mounted in the customized guiding device case (Figure 2.11). A virtual model of the standard device was created to implement planning with the device. The model was based on the available technical documentation and the device dimensions reconciliation using the “Caliber” electric caliper, after which the three-dimensional configuration data of the reusable guiding device was loaded into the virtual planning system.

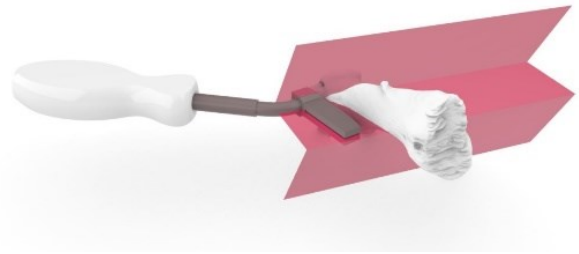


Figure 2.11. Integra Life Sciences Corporation “Osteoguides” device application to the first metatarsal bone in virtual space, the sawing plane is indicated in red.

The axes of wires for fixing the guiding template on the bone surface were installed according to the following rules. Firstly, the wires should not have cut off the line of the device. Secondly, the wires should have been installed unparalleled, with 45 degrees or more relative to each other in order to avoid slipping during installation and subsequent displacement of the template (Figure 2.12).

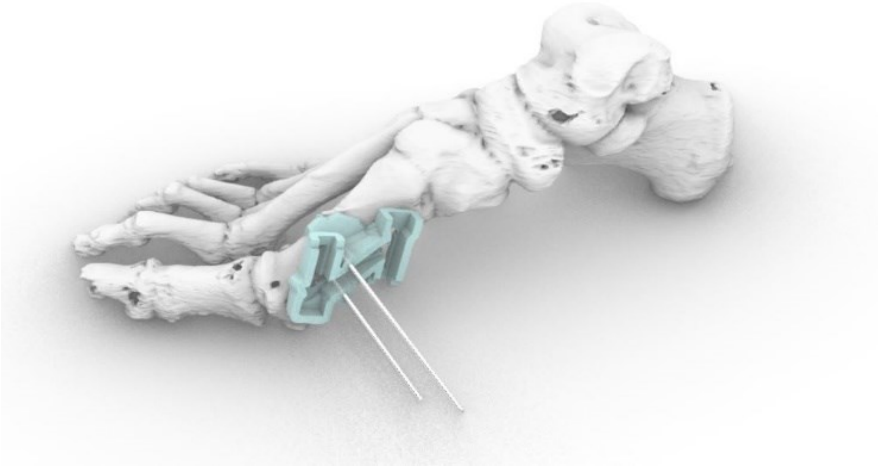
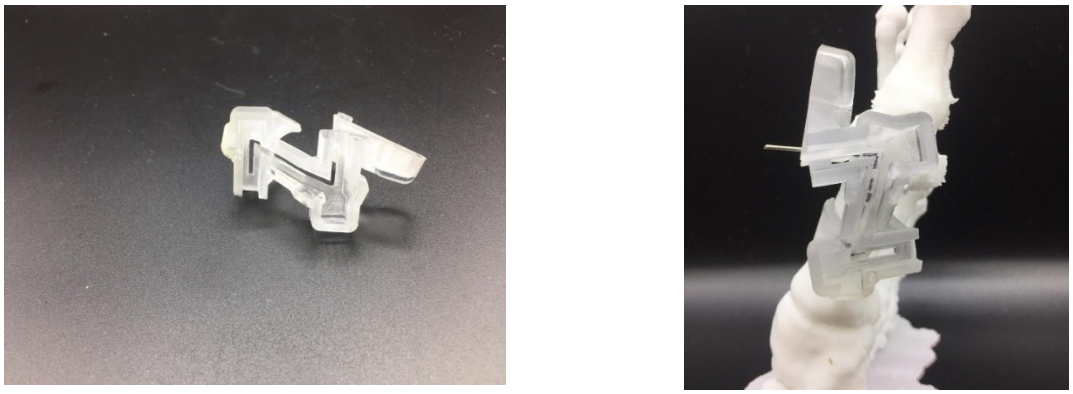


Figure 2.12. Guiding template fixation virtual modeling: a virtual fixation of the guiding template is performed on the first metatarsal bone, the template holding wires direction is selected

After the design of the guiding template geometric parameters was completed, based on all calculations, its project was sent to print. The printed guiding template is shown in Figure 2.13.

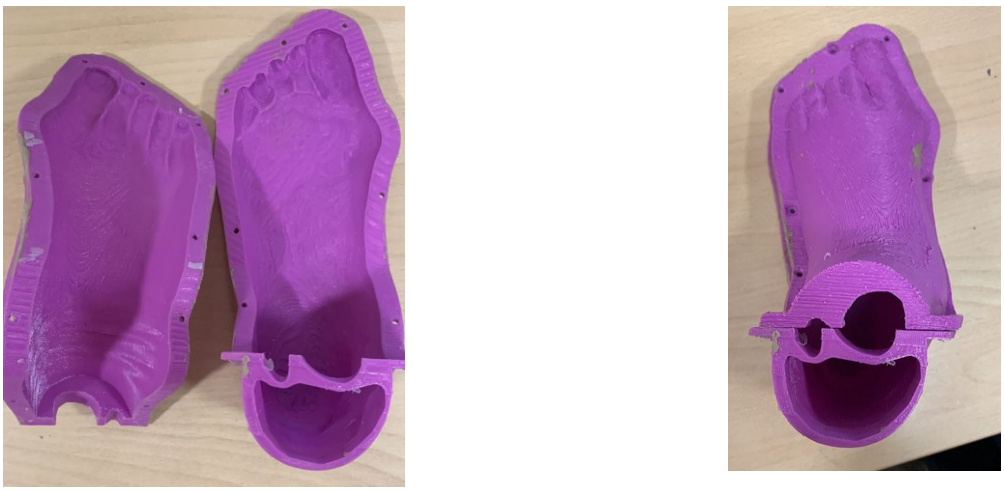


A B

Figure 2.13. A - Printed guiding template for SCARF osteotomy; B - Printed guiding template installed on the printed foot model

2.2.5. Modeling and printing of a model

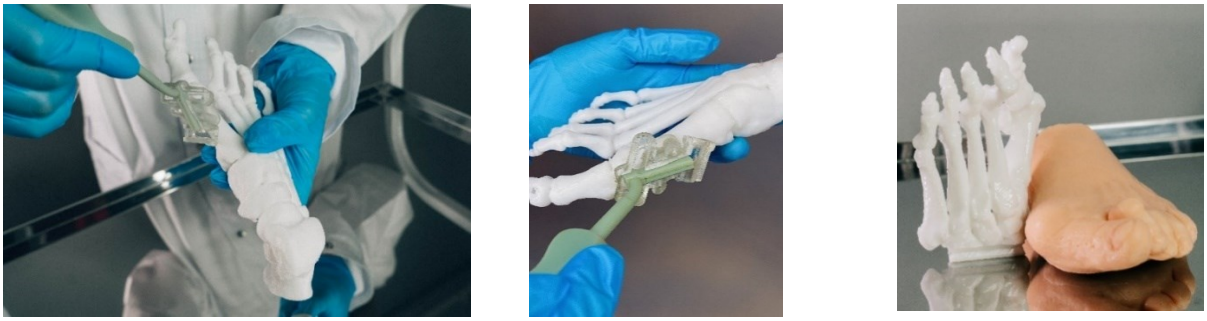
To conduct the experimental part of the study, it was necessary to create a customized foot model, which consisted of a solid printed part and a silicone coating. A solid printed model was produced based on the initial deformity MSCT data with the bone structures segmentation. A customized filling mold was created for each foot based on the foot non-segmented MSCT data, an example of customized filling mold is shown in Figure 2.14.



A B

Figure 2.14. A – Disassembled customized filling mold for a silicone model; B - Assembled customized filling mold for a silicone model.

A solid model was printed and filled with silicone (Figure 2.15).



A B C

Figure 2.15. A - guiding template installation on a printed foot model, top view;B - guiding template installation on a printed foot model, side view; C – foot model prototype with and without silicone filling

2.2.6. Guiding template and foot model printing

The customized guiding templates printing was performed on “Stratasys” 3D printers using PolyJet technology. The MED610 photopolymer material manufactured by

stratasys was used for the guiding template production. To create the foot solid model, FDM technology (fused deposition modeling - modeling with layer-by-layer deposition) was used, using the “Raise 3d N2 Duo” polymer material. The “Smooth oh” silicone with a Shore hardness of 30 was used for soft tissues modeling.

2.2.7. Customized model operation

All models were operated at the N.I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies 2nd Traumatology Department. The operations were performed by one surgeon with extensive experience in corrective scarf osteotomy (Figure 2.16). The osteotomy detailed description is given in section 2.3.6 Surgical technique.

After the operation, radiography control of the performed correction was carried out and IMA and HVA were measured (the angle measurements detailed description is given in section 2.3.5.2 Radiography).

A B

Figure 2.16 Surgery simulation, including additional osteotomies. Models (A, B)

2.3. Clinical study part

The clinical trial consisted of 4 stages. In total, 367 patients were included in the clinical study with the diagnosis: acquired valgus deformity of the first toe of mild and moderate severity. All patients were informed in detail about the design of the study

before being included in the study and signed a voluntary informed consent to participate in the study.

2.3.1. Inclusion criteria

The following inclusion criteria was used for enrollment patients to the study groups:

- Age over 18 years.
- Mild to moderate HV deformity.
- Manifested pain syndrome.
- Body mass index of less than 30.
- No rheumatic diseases.
- No vascular or neurological pathology.
- Stable first metatarsal joint.
- No significant functional disorders of the ankle, knee, hip joints, or degenerative disk disease (DDD) with neurological deficit.
- Voluntary consent to surgery and research.
- The ability to evaluate the results on the 12th and 24th month of the study.

The inclusion and exclusion criteria scheme is presented in Figure 2.17.

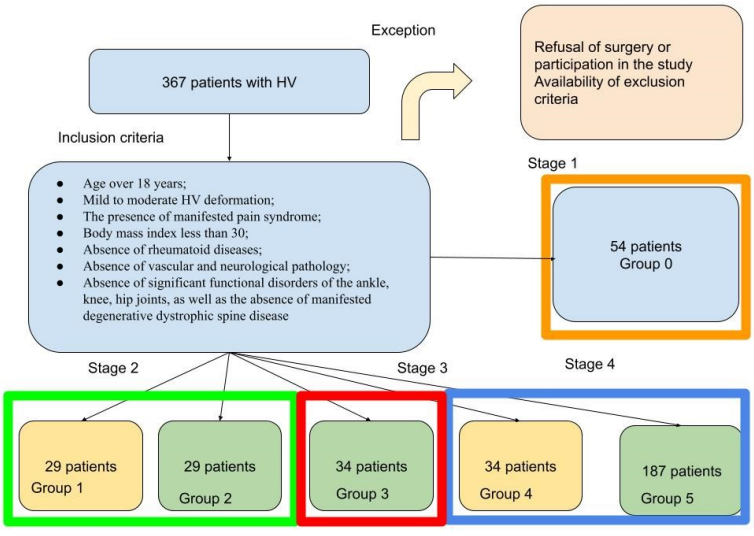


Figure 2.17. Patient inclusion and exclusion criteria and the number of patients in groups for the dissertation study

2.3.2. General characteristics of patients included in the clinical study stage 1

At this stage, a Group 0 was formed. The study included 54 patients who was previously provided with the virtual deformity modeling at the experimental study stage, followed by the customized plastic model operation using customized guiding templates. The patients underwent corrective scarf osteotomy for mild (13 cases – 13 feet) and moderate (41 cases – 41 feet) deformity. With this, the same guiding templates of experimental study part were used to perform surgery on the deformed foot plastic model.

The mean patients age was 57.00±10.09 years, the mean BMI was 24.52±3.20 kg/m^2, the mean HVA obtained before planning was 30.27±5.61 degrees, the mean IMA obtained before planning was 16.39±2.54 degrees.

The operation technique, as well as the rehabilitation treatment protocol, did not differ from those in other groups and are described below.

2.3.3. General characteristics of patients included in the clinical study stage 2

The first clinical group included 29 patients (29 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning without additive technologies use for a customized guiding template production; all calculations were performed using the traditional method with planning on two-dimensional radiographs. All operations in this group were performed by an experienced surgeon, whose number of operations with the scarf technique was more than 1000 at the time of the study.

The second clinical group included 29 patients (29 feet). The operations were performed by the same surgeon. Patients in this group underwent a set of preoperative planning with additive technologies use for a customized guiding template production, which was used during the surgery.

The first group included 29 (100%) women, and no (0%) man. The mean patients age in the first group was 54.48±9.18 years. The mean patients BMI was 24.61±3.13 kg/m^2. There were 15 (51.72%) patients with normal body weight, and 14 (48.28%) patients with overweight. The mean AOFAS scale score before surgery in the first group was 52.79±17.21 points, mean VASFA score was 66±17.08 points, mean MOXFQ score was 60.22±18.54 points. According to the AOFAS scale, the following results were obtained: unsatisfactory - 11 (37.93%), satisfactory - 15 (51.72%), good - 3 (10.34%). The mean HVIP angle before surgery in the first group was 10.89±5.01 degrees, mean HVA was 25.56±4.41 degrees, mean IMA was 15.71±2.36 degrees, and mean DMAA was 8.58±4.64 degrees.

The second group included 29 (100%) women. The mean patients age in the second group was 56.93±8.91 years. The mean patients BMI was 24.49±3.54 kg/m^2. There were 14 (48.28%) patients with normal body weight, and 15 (51.72%) patients with overweight. The mean AOFAS scale score before surgery in the second group was 57.03±13.07 points, mean VASFA score was 65.69+17.52 points, mean MOXFQ score was 62.67±17.01 points. According to the AOFAS scale the following results were obtained: unsatisfactory - 10 (34.48%), satisfactory - 16 (55.17%), good - 3 (10.34%). The mean HVIP angle before surgery in the second group was 13.74±5.63 degrees, mean HVA was 24.57±5.19 degrees, mean IMA was 16.19±2.8 degrees, and DMAA was 8.08±4.52 degrees.

Since the study groups included both patients with isolated scarf osteotomy and patients who had Akin and/or other metatarsal osteotomy in addition to scarf osteotomy, a comparative analysis of treatment results was performed in subgroups with no additional osteotomy and with additional osteotomy in order to determine the additional osteotomy impact on the scarf osteotomy results. With this, a 4 lines comparison was performed: subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy of the first and second groups were compared among themselves; subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy were compared within each group (Figure 2.18).

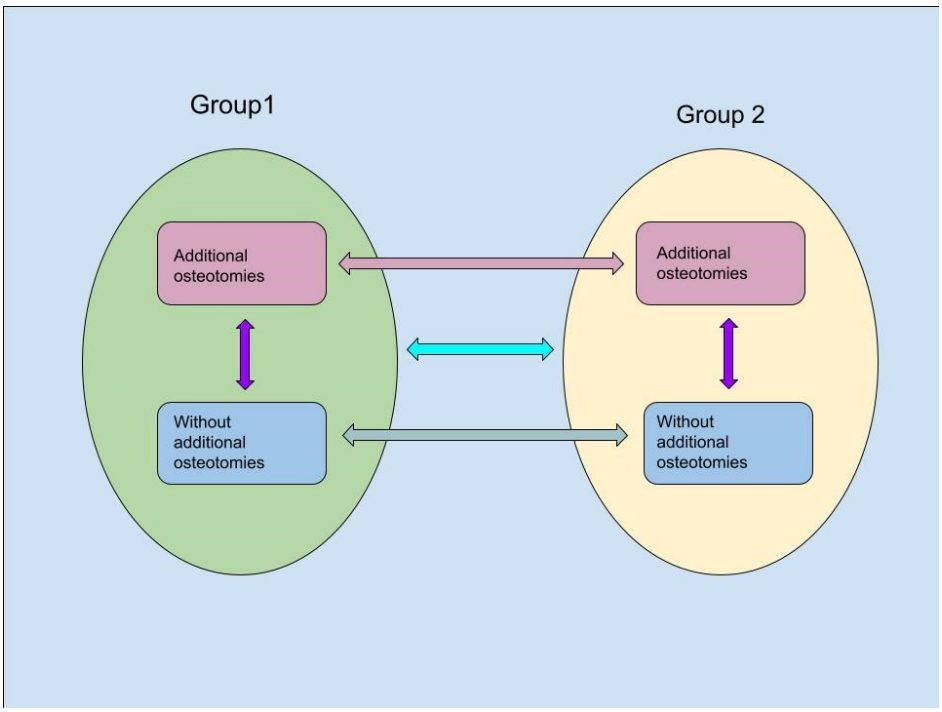


Figure 2.18. Four lines comparison: subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy in the first and second groups compared among themselves; subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy compared within each group.

2.3.4. General characteristics of patients included in the clinical study stages 3 and 4

The third clinical group included 34 patients (34 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning without additive technologies use for a customized guiding template production; all calculations were carried out using the traditional method with planning on two-dimensional radiographs. All operations in this group were performed by a surgeon mastering the technique before the training stage with the help of guiding templates. This clinical group showed the baseline level of a surgeon mastering the scarf osteotomy.

The fourth clinical group included 34 patients (34 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning with additive technologies use for a customized

guiding template production, which was used during the operation. All operations in this group were performed by a surgeon mastering the technique.

The fifth clinical group included 187 patients (187 feet). Patients in this group underwent a set of preoperative planning without additive technologies use for a customized guiding template production, all calculations were carried out using the traditional method with planning on two-dimensional radiographs. All operations in this group were performed by a surgeon mastering the technique after the training stage. (Figure 2.19). The operations results in this group allowed surgical skill progress assessment of a surgeon mastering the technique using three-dimensional planning method with a customized guiding template (Figure 2.19).

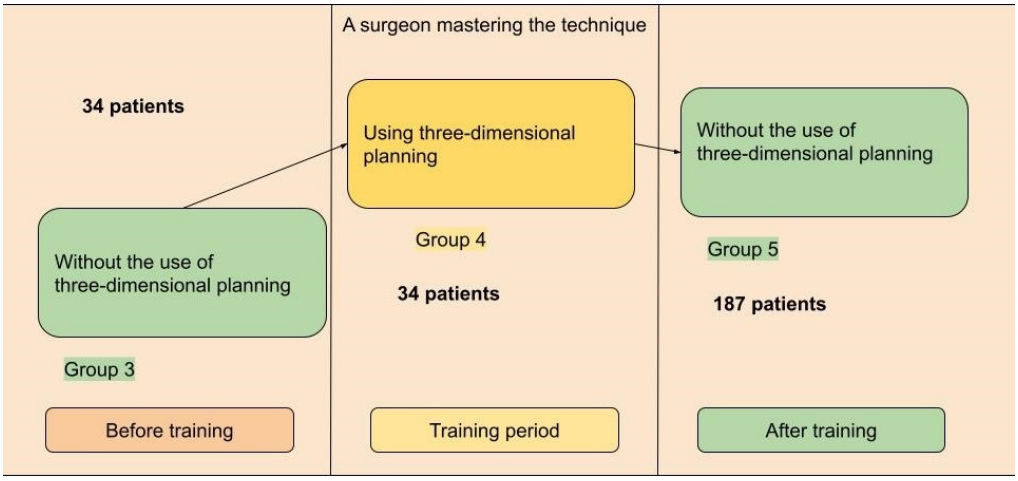


Figure 2.19 Clinical study stage 3 design

The third group included 29 (85.29%) women, and 5 (14.71%) men. The mean patients age in the third group was 56.03±9.37 years. The mean patients BMI was 25.06±3.05 kg/m^2. There were 18 (52.94%) patients with normal body weight, and 16 (47.06%) patients with overweight. The mean AOFAS scale score before surgery in the third group was 60.82±16.25 points, mean VASFA score was 65±14.6 points, mean MOXFQ score was 60.66±15.56 points. According to the AOFAS scale, the following results were obtained: unsatisfactory - 9 (26.47%), satisfactory - 18 (52.94%), good - 7 (20.59%). The mean HVIP angle before surgery in the third group was 10.3±4.76 degrees,

mean HVA was 23.14±4.51 degrees, mean IMA was 16.08±1.87 degrees, mean DMAA was 9.17±4.39 degrees.

The fourth group included 32 (94.12%) women, and 2 (5.88%) men. The mean patients age in the fourth group was 57.06±11.2 years. The mean patients BMI was 24.55±2.96. There were 20 (58.82%) patients with normal body weight, and 14 (41.18%) patients with overweight. The mean AOFAS scale score before surgery in the fourth group was 62.35±15.72 points, mean VASFA score was 69.35±15.77 points, mean MOXFQ score was 61.07±18.81 points. According to the AOFAS scale the following results were obtained: unsatisfactory - 8 (23.53%), satisfactory - 18 (52.94%), good - 8 (23.53%). The mean HVIP angle before surgery in the fourth group was 11.44±6.17 degrees, mean HVA was 24.55±5.06 degrees, mean IMA was 16.56±2.33 degrees, mean DMAA was 9.03±3.31 degrees.

The fifth group included 179 (95.72%) women and 8 (4.28%) men. The mean patients age in the fifth group was 54.65±12.32 years. The mean patients BMI was 24.53±3.05. There were 96 (51.34%) patients with normal body weight, and 91 (48.66%) patients with overweight. The mean AOFAS scale score before surgery in the fifth group was 55.34±16.23 points, mean VASFA score was 64.39±16.24 points, mean MOXFQ score was 62.33±17.35 points. According to the AOFAS scale the following results were obtained: unsatisfactory - 78 (41.71%), satisfactory - 80 (42.78%), good - 29 (15.51%). The mean HVIP angle before surgery in the fifth group was 10.42±4.29 degrees, mean HVA was 24.48±5.31 degrees, mean IMA was 15.56±2.74 degrees, mean DMAA was 9.57±5.3 degrees.

All parameters were checked to be uniformly distributed between the groups, and no statistically significant differences were found (Table 2.2, Table 2.3), with the exception of gender. There were no male patients in the first or second groups, while the third, fourth and fifth groups included 5 (14.71%), 2 (5.88%) and 8 (4.28%) male patients, respectively (Table 2.3). Nevertheless, the univariate analysis with logical regression showed the gender was not significant for the treatment results, thus the groups could be considered homogeneous for further analysis and comparison of the results obtained.

Table 2.2. Descriptive statistics of 5 groups by age, BMI, AOFAS scale score, VASFA score, MOXFQ score, HVIP angle, HVA, IMA, DAMA, and between groups homogeneity assessment (p-value). Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
Age (years)	56,93±8,91	54,48±9,18	56,03±9,37	57,06±11,2	54,65±12,32	0,71
BMI (kg/m^2)	24,49±3,54	24,61±3,13	25,06±3,05	24,55±2,96	24,53±3,05	0,93
AOFAS (points)	57,03±13,07	52,79±17,21	60,82±16,25	62,35±15,72	55,34±16,23	0,09
VASFA (points)	65,69±17,52	66±17,08	65±14,6	69,35±15,77	64,39±16,24	0,64
MOXFQ (points)	62,67±17,01	60,22±18,54	60,66±15,56	61,07±18,81	62,33±17,35	0,94
HVIP (degrees)	13,74±5,63	10,89±5,01	10,3±4,76	11,44±6,17	10,42±4,29	0,12
HVA (degrees)	24,57±5,19	25,56±4,41	23,14±4,51	24,55±5,06	24,48±5,31	0,41
IMA (degrees)	16,19±2,8	15,71±2,36	16,08±1,87	16,56±2,33	15,56±2,74	0,26
DMAA (degrees)	8,08±4,52	8,58±4,64	9,17±4,39	9,03±3,31	9,57±5,3	0,72

Table 2.3. Descriptive statistics of 5 groups by gender, BMI, AOFAS scale results, deformity degree, Akin osteotomy and other metatarsal bones osteotomies, and between groups homogeneity assessment (p-value). Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Group/Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	
Gender						p-value
Female	29 100%	29 100%	29 85,29%	32 94,12%	179 95,72%	0,03
Male	0 0%	0 0%	5 14,71%	2 5,88%	8 4,28%	
BMI						p-value
Normal body weight	14 48,28%	15 51,72%	18 52,94%	20 58,82%	96 51,34%	0,93
Pre - obesity	15 51,72%	14 48,28%	16 47,06%	14 41,18%	91 48,66%	

Continued table 2.3.

Evaluation AOFAS						p-value
Unsatisfactory	10 34,48%	11 37,93%	9 26,47%	8 23,53%	78 41,71%	0,39
Satisfactory	16 55,17%	15 51,72%	18 52,94%	18 52,94%	80 42,78%	
Good	3 10,34%	3 10,34%	7 20,59%	8 23,53%	29 15,51%	
Level of deformation						p-value
Mild	7 24,14%	3 10,34%	9 26,47%	6 17,65%	52 27,81%	0,27
Moderate	22 75,86%	26 89,66%	25 73,53%	28 82,35%	135 72,19%	
Additional osteotomy Akin						p-value
Yes	10 34,48%	12 41,38%	15 44,12%	7 20,59%	71 37,97%	0,28
No	19 65,52%	17 58,62%	19 55,88%	27 79,41%	116 62,03%	
Additional osteotomies of other metatarsal bones						p-value
2,3,4,5 metatarsal bones	6 20.69%	4 13.79%	4 11.76%	3 8.82%	25 13.37%	0,37
2,3,5 metatarsal bones	2 6.9%	3 10.34%	1 2.94%	3 8.82%	13 6.95%	
2,5 metatarsal bones	6 20.69%	1 3.45%	1 2.94%	5 14.71%	17 9.09%	
5 metatarsal bone	15 51.72%	5 17.24%	9 26.47%	6 17.65%	59 31.55%	
No osteotomy	0 0%	16 55.17%	19 55.88%	17 50%	73 39.04%	

General characteristics of patients included in subgroup of additional osteotomies

Since the study groups included both patients with isolated scarf osteotomy and patients who had Akin and/or other metatarsal osteotomy in addition to scarf osteotomy, a comparative analysis of treatment results was performed in subgroups with no additional osteotomy and with additional osteotomy in order to determine the additional osteotomy impact on the scarf osteotomy results. With this, a 4 lines comparison was performed: subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy of the third, fourth and fifth groups were compared among themselves; subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy were compared within each group.

Since there were patients in all groups who underwent additional Akin osteotomies and 2-5 metatarsal osteotomies, a comparative analysis was conducted of the results in subgroups of additional osteotomy and no additional osteotomy performed in order to determine the effect of additional osteotomy on the investigational method. Additional osteotomy was considered to have no effect on data obtained during the study of the three-dimensional planning technique with a guiding template production, if the pairwise comparison did not differ from the general sample. The subgroups were determined depending on whether any additional osteotomy was performed. In addition, a pairwise comparison of subgroups of patients with and without additional osteotomies was performed within the groups in order to determine the difference between the groups (Figure 2.20).

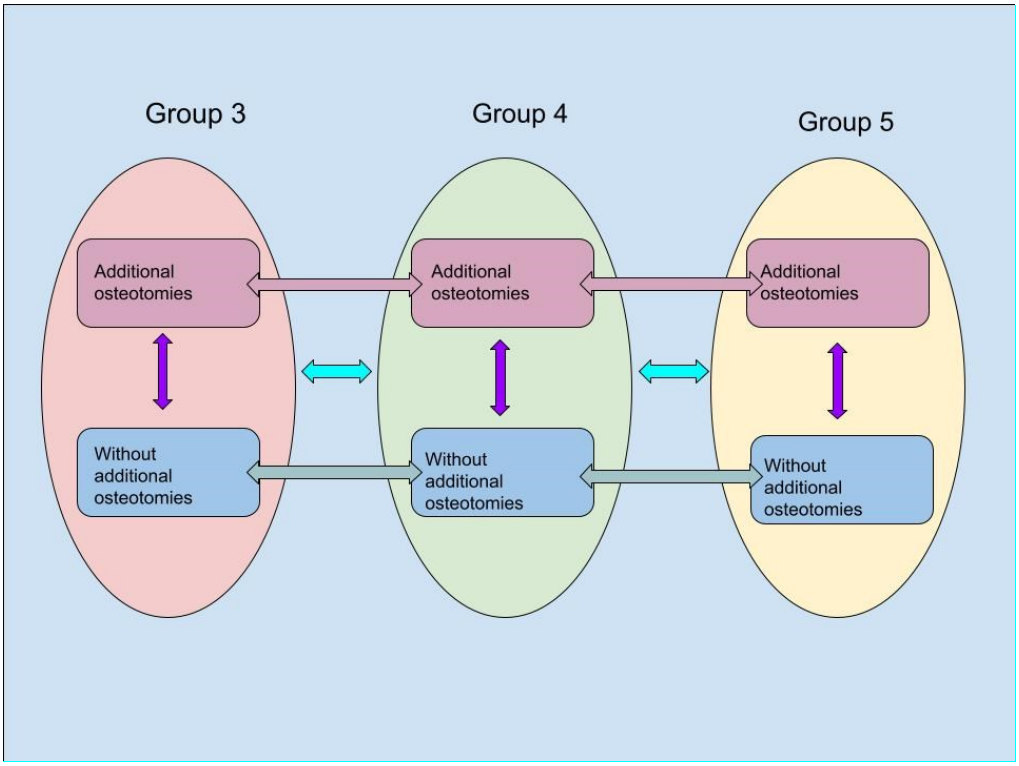


Figure 2.20. Four lines comparison: subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy in the third, fourth and fifth groups compared among themselves; subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy compared within each group

The subgroup of additional osteotomy included 214 patients. Of these, there were 203 (94.86%) women, and 11 (5.14%) men. The mean patients age in the subgroup of

additional osteotomies was 55.52±11.21 years. The main subgroup characteristics are shown in Table 2.4, Table 2.5.

All parameters were checked to be uniformly distributed between the groups, and no statistically significant differences were found (Table 2.5, Table 2.6).

Table 2.4. Descriptive statistics of 5 groups in the subgroup of additional osteotomy by age, BMI, AOFAS scale score, VASFA score, MOXFQ score, HVIP angle, HVA, IMA, DMAA, and between groups homogeneity assessment (p-value). Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
Age (years)	58,21±7,35	55,83±9,66	57,95±10,18	59,6±9,37	54,15±12,05	0,13
BMI (kg/m^2)	24,25±3,97	24,88±2,91	25,15±3	25,07±3,23	24,34±3,01	0,68
AOFAS (points)	56±15,13	51,89±16,05	61,05±15,4	63,25±16,07	54,97±16,5	0,13
VASFA (points)	60,53±17,58	64,53±12,36	68,33±13,1	67,1±16,73	64,27±16,2	0,7
MOXFQ (points)	65,99±17,69	64,03±14,51	64,75±15,59	59,31±17,08	61,76±17,57	0,78
HVIP (degrees)	13,38±5,84	10,21±4,37	10,46±3,62	12,91±6,83	10±4,39	0,34
HVA (degrees)	26,2±4,9	25,59±4,73	22,78±4,93	24,12±5,13	25,04±5,24	0,18
IMA (degrees)	16,1±3,17	16,05±2,38	16,15±2,02	16,39±2,33	15,5±2,77	0,58
DMAA (degrees)	8,15±4,35	8,79±4,79	8,91±4,65	9,15±3,24	9,46±5,37	0,92

Table 2.5. Descriptive statistics of 5 groups in the subgroup of additional osteotomy by gender, BMI, AOFAS scale results, deformity degree, Akin osteotomy and other metatarsal bones osteotomies, and between groups homogeneity assessment (p-value). Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Group/ Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	
Gender						p-value
Female	19 100%	18 100%	17 85%	20 100%	129 94,16%	0,13
Male	0 0%	0 0%	3 15%	0 0%	8 5,84%	

Continued table 2.5.

BMI						p-value
Normal body weight	10 52,63%	9 50%	12 60%	9 45%	76 55,47%	0,88
Pre - obesity	9 47,37%	9 50%	8 40%	11 55%	61 44,53%	
Evaluation AOFAS						p-value
Unsatisfactory	8 42,11%	8 44,44%	6 30%	5 25%	60 43,8%	0,69
Satisfactory	8 42,11%	9 50%	11 55%	10 50%	57 41,61%	
Good	3 15,79%	1 5,56%	3 15%	5 25%	20 14,6%	
Level of deformation						p-value
Mild	2 10,53%	2 11,11%	7 35%	4 20%	30 21,9%	0,31
Moderate	17 89,47%	16 88,89%	13 65%	16 80%	107 78,1%	
Additional osteotomy Akin						p-value
Yes	10 52,63%	12 66,67%	15 75%	7 35%	71 51,82%	0,1
No	9 47,37%	6 33,33%	5 25%	13 65%	66 48,18%	
Additional osteotomies of other metatarsal bones						p-value
2,3,4,5 metatarsal bones	6 31,58%	4 22,22%	4 20%	3 15%	25 18,25%	0,56
2,3,5 metatarsal bones	2 10,53%	3 16,67%	1 5%	3 15%	13 9,49%	
2,5 metatarsal bones	6 31,58%	1 5,56%	1 5%	5 25%	17 12,41%	
5 metatarsal bone	5 26,32%	5 27,78%	9 45%	6 30%	59 43,07%	
No osteotomy	0 0%	5 27,78	5 25	3 15	23 16,79	

General characteristics of patients included in subgroup of no additional osteotomies. The subgroup of no additional osteotomy included 99 patients, of whom 95 (95.96%) were women, and 4 (4.04%) men. The mean patients age in the subgroup of no additional osteotomy was 54.69±11.66 years. The main subgroup characteristics are shown in Table 2.6, Table 2.7.

All parameters were checked to be uniformly distributed between the groups, and no statistically significant differences were found (Table 2.6, Table 2.7).

Table 2.6. Descriptive statistics of 5 groups in the subgroup of no additional osteotomy by age, BMI, AOFAS scale score, VASFA score, MOXFQ score, HVIP angle, HVA, IMA, DMAA, and between groups homogeneity assessment (p-value). Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Group/ Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
Age (years)	54,5±11,36	52,27±8,27	53,29±7,59	53,43±12,88	56±13,08	0,49
BMI (kg/m^2)	24,93±2,7	24,17±3,56	24,92±3,24	23,82±2,45	25,07±3,11	0,57
AOFAS (points)	59±8,21	54,27±19,67	60,5±17,98	61,07±15,72	56,36±15,57	0,79
VASFA (points)	75,5±13,19	68,41±23,38	60,25±15,79	72,57±14,26	64,73±16,5	0,13
MOXFQ (points)	56,38±14,42	53,98±23,15	54,82±14,02	63,57±21,45	63,9±16,79	0,21
HVIP (degrees)	14,44±5,45	12,01±5,96	12,92±5,06	9,33±4,53	11,57±3,83	0,17
HVA (degrees)	21,47±4,42	25,51±4,05	23,66±3,94	25,17±5,08	22,93±5,24	0,11
IMA (degrees)	16,35±2,07	15,14±2,32	15,98±1,72	16,8±2,39	15,74±2,66	0,43
DMAA (degrees)	7,94±5,07	8,25±4,6	9,55±4,13	8,84±3,53	9,88±5,13	0,66

Table 2.7. Descriptive statistics of 5 groups in the subgroup of no additional osteotomy by gender, BMI, AOFAS scale results, deformity degree, Akin osteotomy and other metatarsal bones osteotomies, and between groups homogeneity assessment (p-value). Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	
Gender						p-value
Female	10 100%	11 100%	12 85,71%	12 85,71%	50 100%	0,13
Male	0 0%	0 0%	2 14,29%	2 14,29%	0 0%	
BMI						p-value
Normal body weight	4 40%	6 54,55%	6 42,86%	11 78,57%	20 40%	0,13
Pre - obesity	6 60%	5 45,45%	8 57,14%	3 21,43%	30 60%	

Continued table 2.7.

Evaluation AOFAS						p-value
Unsatisfactory	2 20%	3 27,27%	3 21,43%	3 21,43%	18 36%	0,61
Satisfactory	8 80%	6 54,55%	7 50%	8 57,14%	23 46%	
Good	0 0%	2 18,18%	4 28,57%	3 21,43%	9 18%	
Level of deformation						p-value
Mild	5 50%	1 9,09%	2 14,29%	2 14,29%	22 44%	0,12
Moderate	5 50%	10 90,91%	12 85,71%	12 85,71%	28 56%	

2.3.5. Patients examinations

The analysis of the surgical treatment effectiveness of was based on radiography and clinical examination data, including the subjective questionnaire method. The data obtained were processed using specialized Statistica v.12 packages for processing statistical data using appropriate techniques.

Clinical method and questionnaire. The feet clinical examination and evaluation were performed to determine the surgery indications and contraindications. The following parameters were clinically evaluated: the toes deformation, pseudoexostoses severity, the foot shape, the metatarsophalangeal joints range of motion and pain, the foot rigidity, the ability of the lower leg muscles contraction to eliminate the deformity. The metatarsal-cuneiformis joint stability was also clinically evaluated.

All patients were surveyed on the AOFAS scale (100 points maximum) and VASFA (100 points maximum), MOXFQ (100 points maximum) before surgery, 6 and 12 months postsurgery (see Appendix).

The American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) foot and ankle diseases clinical rating scale (100 points maximum) was used to assess the foot function (see Appendix). The result of less than 51 points was considered as "bad", from 51 to 75 as "satisfactory", from 76 to 90 as "good", and more than 90 as "excellent". [189].

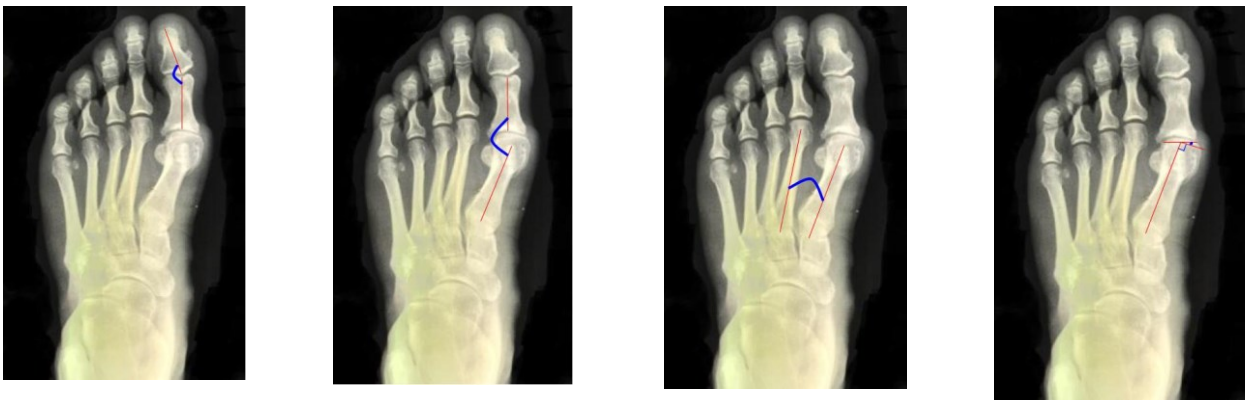
The Visual Analog Scale Foot and Ankle VASFA results were converted into a 100-point system with the following formula: the sum of points/2 [15, 196].

The Manchester-oxford foot questionnaire MOXFQ results were converted into a 100-point system with the following formula: the sum of points*6,25/5 [73, 74].

The deformity recurrence was monitored 12 and 24 months postsurgery, as well as complications were recorded. These data were also analyzed with the between groups differences statistical significance determination.

In addition, 24 months postsurgery, the following parameters were determined: the forefoot pain during regular walking (metatarsalgia) and the first metatarsophalangeal joint stiffness, which was defined as a back flexion decrease by more than 20% compared to an intact foot or less than 60% of the normal range of motion considered as 70 degrees extension and 35 degrees flexion, with a total range of 105 degrees [107].

Radiography. The severity of HV deformity was determined on the forefoot radiographs in dorsoplantar and lateral projections with loading. The following angular parameters were measured: the Hallux valgus interphalangeal angle (HVIPA), the HV angle (HVA), the intrametatarsal angle (IMA), and the angle of the articular platform incline (distal metatarsal articular angle - DMAA).



1 2 3 4

Figure 2.21. Angular parameters measurement: (1) the first interphalangeal angle (HVIPA), (2) the HV angle (HVA), (3) the intrametatarsal angle (IMA), (4) the angle articular platform incline (DMAA)

Dorsoplantar radiographs were performed with a distance of 1 m between the X-ray tube and the film, while the X-ray tube was centered on the tarsal joint and rotated at 15 degrees angle to the ankle joint relative to the plantar plane of the foot (Figure 2.21).

For IMA determination, the control points were located in the proximal and distal metaphysis regions equidistant from the medial and lateral cortical layer of the first and second metatarsal bones. The angle on the intersection of these axes was considered IMA. Normally, the angle was considered to be less than 9 degrees, with mild deformation – up to 11 degrees, moderate deformation - from 11 to 16 degrees, and severe deformation – of more than 16 degrees [66, 76, 191].

The HVA angle was considered one of the most important deformity indicators. It was determined by axes placed on the first metatarsal and the proximal phalanx of the first toe in such a way that they bisected the diaphysis in the proximal and distal metaphysis regions equidistant from the medial and lateral cortical layer of the proximal phalanx and the first metatarsal bone. The angle on the intersection of these axes was considered HVA. The HVA of less than 15 degrees was considered normal, mild deformation corresponded to an angle of less than 20 degrees, moderate deformation - from 20 to 40 degrees, and severe deformation – of more than 40 degrees. Combined assessment of the IMA and HVA allowed accurate surgery indications determination, as well as the deformity correction stability postoperative monitoring. According to the study inclusion criteria, scarf osteotomy was performed for mild and moderate deformities with a HVA of up to 40 degrees [66, 199].

DMAA was defined as the ratio of the first metatarsal bone distal articular surface to the first metatarsal bone longitudinal axis. The angle measurement control points were located most medially and laterally on the first metatarsal bone distal articular surface. The line connecting these points determined the lateral incline of the articular surface. The other line was placed perpendicular to this articular line. The angle formed by this perpendicular line and the longitudinal diaphysis axis of the first metatarsal bone was considered DMAA. The angle of 6 degrees or less was considered normal [66].

HVIPA is the angle between the longitudinal axes of the proximal and distal phalanges of the first toe. The axes were positioned in such a way that they bisected the diaphysis in the proximal and distal metaphysis regions equidistant from the medial and lateral cortical layer of the proximal phalanx and distal phalanx of the first toe [142, 212].

For patients who were planned to use three-dimensional planning with the creation of an individual template-guide, MSCT was performed with a load according to the procedure described in paragraph "2.2.1 Three-dimensional planning with a customized guiding template production method development ".

2.3.6. Surgical technique

All surgeries were performed under regional anesthesia with sciatic nerve blockade under ultrasound imaging in the supine position with a pneumatic turnstile application using the same technique described in the “SCARF-Osteotomie” by Trnka H.J. and colleagues in 2017 [222].

A skin incision was made from the medial side in the area of the first metatarsophalangeal joint from the proximal third of the big toe main phalanx to the middle of the first metatarsal bone. Subcutaneous tissue was shifted to the back and plantar areas and fixed using blunt hooks. The plantar lobe of the first metatarsophalangeal joint capsule was first separated from the main phalanx, and then from the plantar lobe of the first metatarsal bone head with the plantar feeding artery preservation. Next, the joint capsule was moved dorsally with the feeding vessels preservation. The first toe of the foot was brought into a state of subluxation outward. To increase the mobility of the first metatarsal bone head, blunt dissection was performed to release the space between the head and sesamoid bones.

For a surgery with the traditional technique, the medial pseudoexostosis of the first metatarsal bone was economically removed along the exostosis sulcus with an oscillating saw with the formation of an olive-shaped sawing surface before Z-shaped osteotomy.

A Kirschner wire was installed with an entry point at the head of the first metatarsal with a direction to the head of the IV metatarsal. The second Kirschner wire was installed with an entry point on the proximal third of the first metatarsal bone medial surface parallel to the first. An oscillating saw formed a Z-shaped cut between two Kirschner wires.

For a surgery with a guiding template, the exostosis was removed after a Z-shaped osteotomy. After performing surgical access, the template was installed to close contact with the bone, according to the individual form of exostosis, and a Z-shaped cut was made along the guiding template. Next, the exostosis was removed according to the technique described above. The distal fragment of the first metatarsal bone was mobilized and shifted laterally to the planned width. Then two Kirschner guiding wires for 2.0 mm screws perpendicular to the longitudinal axis of the metatarsal bone were installed through both osteotomized fragments, after which cannulated screws of 2.0 mm diameter were installed along the wires. A part of the medially protruding bone of the proximal fragment was removed with an oscillating saw at the level of the diaphysis cortical layer.

Akin osteotomy was performed as follows: an open–angle osteotomy of the first toe proximal phalanx base was performed with one sawing parallel to the first metatarsophalangeal joint articular surface line, and the second - parallel to the interphalangeal joint articular surface. After comparing the surfaces, preliminary fixation was performed with a Kirchner wire in the dorsoplantar direction perpendicular to the osteotomy plane, along which fixation was carried out with a cannulated screw of 2 mm diameter.

Other metatarsal bones osteotomy. Additional osteotomies of other metatarsal bones were performed using a drill subcapitally through a puncture or a small incision on the dorsal side in the projection of the subcapital zone of the corresponding metatarsal bone.

Surgery completion. The medial articular capsule was performed stitched with U-shaped sutures, holding the big toe in desired correction position. The wound was closed with intradermal suture using an absorbable material. Then a soft bandage was applied to prevent postoperative edema and fix the toes in the desired correction position.

To determine the influence of the investigational factors on the corrective osteotomy quality, the operative time was monitored. The surgery start was considered to be a pneumatic turnstile application on the lower third of the shin. The surgery end was considered to be the last skin suture application.

2.3.7. Postoperative management

Patients were discharged from the hospital on the second day postsurgery. From that day on, patients were allowed loading on the operated lower limb in postoperative shoes (Baruk shoes) for 4 weeks from the moment of surgery, followed by switching to regular shoes [162]. During the first week postsurgery, a corrective bandage was applied. The stitches were removed on the 14th day postsurgery. From the fifth week postsurgery, physical therapy classes were started [162], which were conducted by physical therapy specialists up to 5-8 weeks postsurgery. Active exercises aimed at the lower leg muscles strengthening and manual development of the metatarsophalangeal joints movements were performed there.

2.3.8. Study control points

All patients were surveyed on the AOFAS scale (100 points), VAS (100 points), and MOXFQ (100 points) before surgery, and 6, 12 and 24 months postsurgery. All patients underwent radiography monitoring immediately after surgery, 3 months postsurgery, and 12 months postsurgery. An objective assessment of the HV deformity correction quality was carried out 12 and 24 months postsurgery according to 4 angular indicators: hallux valgus interphalangeal angle (HVIPA), hallux valgus angle (HVA), the first intermaetatarsal angle (IMA), and the angle of the distal articular surface incline to the first metatarsal bone axis (distal metaphyseal articular angle - DMAA) (Figure 2.22). Radiography control was not performed 6 month postsurgery, considering the 12 months

control more informative, since it is possible to judge more objectively the restoration of function and the formation of deformity recurrence at this time [222].

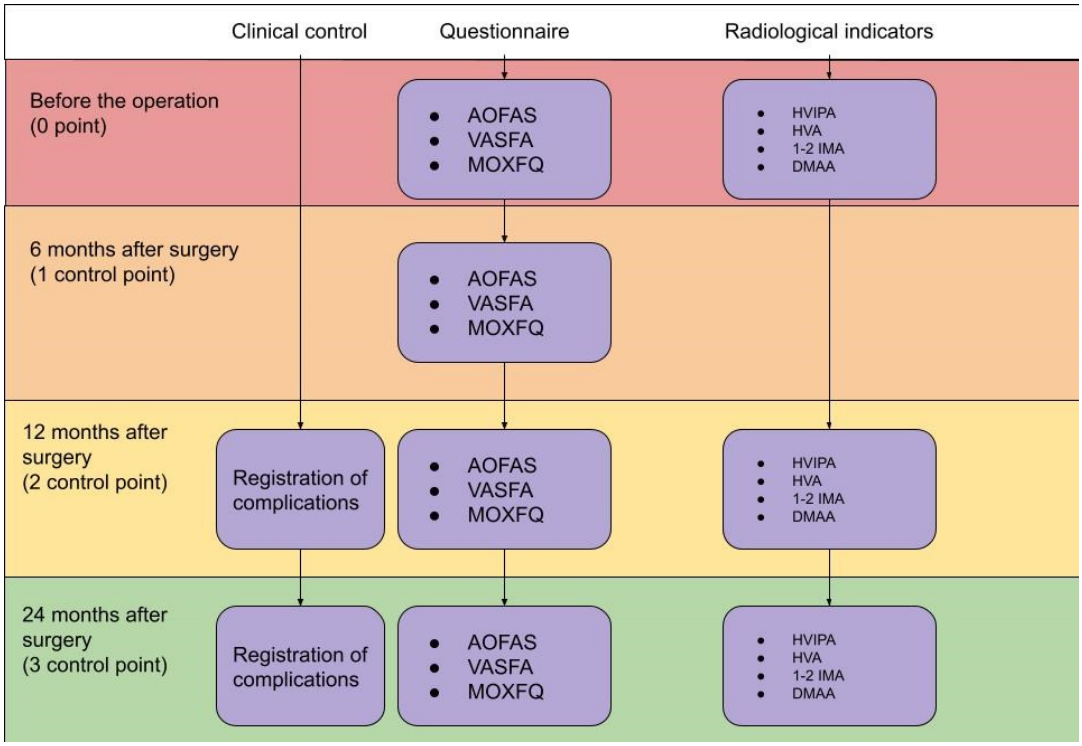


Figure 2.22. Study control points

2.3.9. Statistical methods

Statistical analysis of data was performed in the Statistica v.12 program with built-in packages of calculations based on criteria.

Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests were used to determine the normality of distribution. To checking the effect of heterogeneous distribution by gender, a one-factor analysis was performed by the logical regression method.

For pairwise comparison of 2 groups in the fourth chapter, the Mann-Whitney test was used for independent nonparametric samples and the Student's t-test was used for independent parametric samples of continuous variables. To determine the dependent continuous variables, the Student's t-test for dependent parametric samples and the Wilcoxon test for independent parametric samples were used. For pairwise comparison

of 3 groups in the fifth chapter, univariate analysis of variance for independent parametric samples (ANOVA for independent samples) and analysis of variance for repeated observations (ANOVA for repeated observations) for dependent parametric samples were used for continuous variables. To determine the dependent continuous variables, the Friedman test for dependent parametric samples and the Kruskal-Walis test for independent parametric samples were used. In all chapters, Pearson Chi-squared adjusted for likelihood was used to determine independent qualitative variables, Fisher's exact test was used for small samples, and Cochran's Q-test was used to determine dependent qualitative variables.

CHAPTER 3. GUIDING TEMPLATE PRODUCTION AND VIRTUAL ENVIRONMENT DATA TRANSFER QUALITY ASSESSMENT

This chapter presents and analyzes the results of the experiment and the first clinical study part. The experimental part included several stages. First, a three-dimensional planning method was developed with a guiding template production for the surgical treatment of the forefoot acquired valgus deformity of mild and moderate severity. Then, for 54 patients diagnosed with the first toe acquired mild and moderate valgus deformity MSCT of the feet were performed, based on which customized foot models were printed with virtual scarf surgery planning and customized guiding templates production according to the technology described above. Then the scarf surgeries was performed on customized printed models using the created customized guiding templates. After that, 54 patients provided feet MSCT results for the experimental study part, underwent real scarf osteotomy using the same customized guiding templates that were used during the experiment on custom-made printed foot models. The deformity correction parameters, IMA and HVA, obtained during planning in a virtual environment, after surgery on custom-made printed models and after real surgery performed on patients, were compared with each other. This chapter describes solutions for developing a three-dimensional planning method with a guiding template production for the surgical treatment of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity, as well as comparisons of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity correction results, calculated in a virtual environment, with a biomechanical experiment results on a customized printed foot model, as well as with a real scarf osteotomy using a customized guiding template results. The results of this study part are necessary to understand whether the three-dimensional planning with a guiding template production method is feasible for the surgical treatment of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity and is applicable in clinical settings.

3.1. Results characteristics

According to the study results, the following data were obtained: the mean HVA calculated in a virtual environment was 7.37 ± 2.07 degrees, mean calculated IMA was 8.35 ± 0.95 degrees. The mean HVA after the operation on the models was 7.6 ± 3.47 degrees, mean IMA was 7.83 ± 2.03 degrees. The mean HVA after a real operation was 7.71 ± 3.08 degrees, mean IMA was 7.87 ± 1.63 degrees. There was no statistically significant difference between the HVA and IMA groups. For greater clarity, the results are presented both in a table (Table 3.1).

Table 3.1. Comparative HVA and IMA analysis between groups of three–dimensional planning, plastic bone surgery and real surgery (V - virtual planning data in a three-dimensional environment; P - data after the operation on a printed model; R - data after the real operation). Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

HVA in 3d (degrees)	HVA after surgery on models (degrees)	HVA after surgery (degrees)	IMA in 3d (degrees)	IMA after surgery on models (degrees)	IMA after surgery (degrees)
7,37±2,07	7,6±3,47	7,71±3,08	8,35±0,95	7,83±2,03	7,87±1,63
p-value					
V & P	1		V & P	0,34	
V & R	1		V & R	0,34	
P & R	1		P & R	0,95	

The results are presented also in a combined box-plot with violin diagram (Figure 3.1).

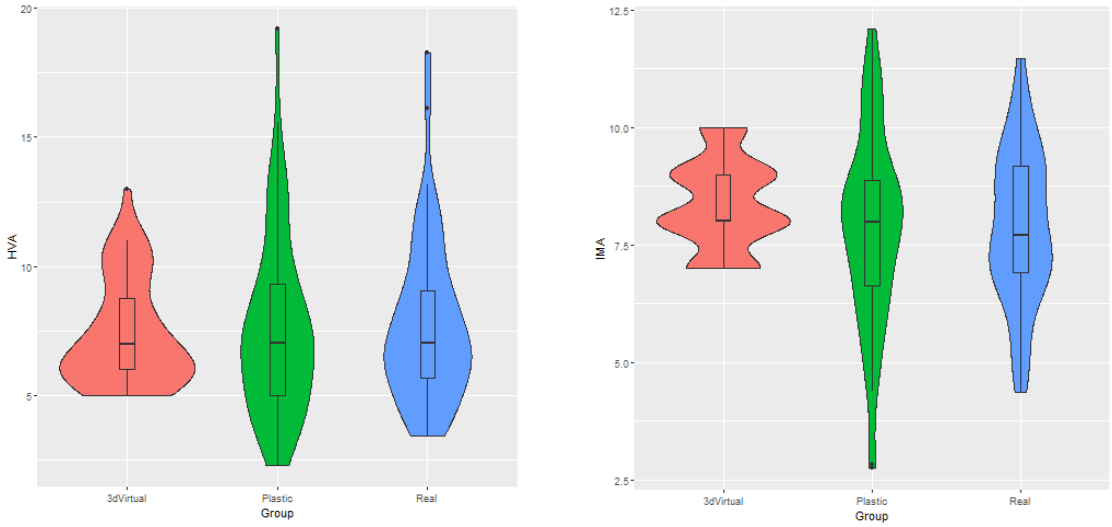
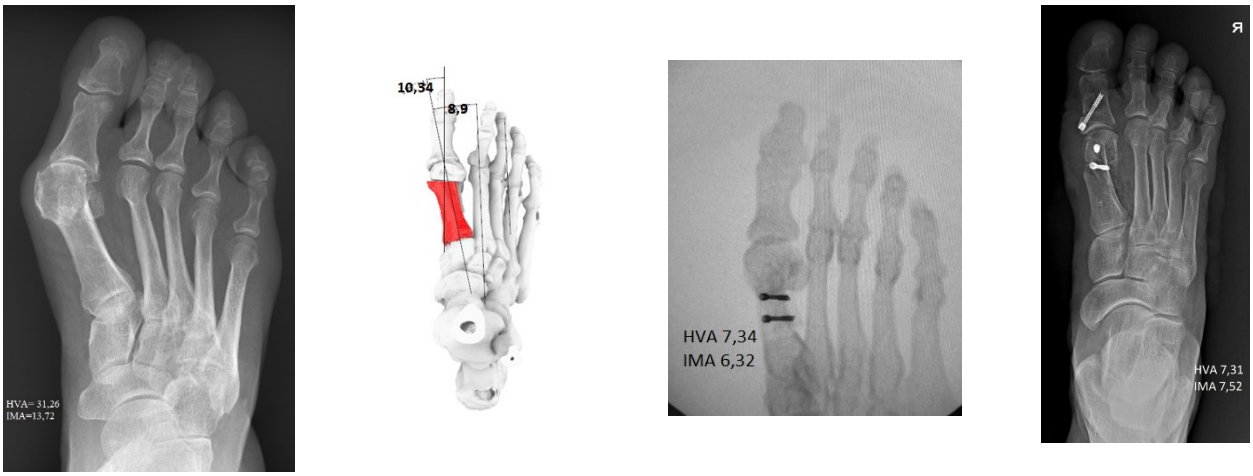


Figure 3.1. Comparative HVA and IMA analysis between groups of three-dimensional planning (red), plastic bone surgery (green) and real surgery (blue).

Clinical case No. 1. The results were included in the experimental part of the study

Patient Z., female, 52 years old. Initial deformations: HVA - 31.26 degrees, IMA - 13.72 degrees. According to the virtual planning data, it was planned to obtain the following results: HVA - 10.34 degrees, IMA - 8.9 degrees. The results after the operation on the printed model: HVA - 8.79 degrees, IMA - 7.8 degrees. The results after the actual operation: HVA - 7.23 degrees, IMA - 7.21 degrees (Figure 3.2).



A B C D

Figure 3.2. A. Dorsoplantar projection of the foot before surgery with initial IMA=13.72 degrees and HVA= 31.26 degrees; B. Virtual correction planning with

IMA=8.9 degrees and HVA= 10.34 degrees. C. Dorsoplantar projection of the printed foot model after surgery with the resulting IMA=7.8 degrees and HVA= 8.79 degrees; D. Dorsoplantar projection of the foot immediately after the operation with the obtained IMA= 7.21 degrees and HVA= 7.23 degrees.

3.2. Results analysis

During the study experimental part first stage, a three-dimensional planning method was developed with a guiding template production for the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity, followed by scarf osteotomies of plastic foot models using a customized guiding template [3, 22–25]. The results of HVA and IMA comparisons in these groups showed the desired HVA after correction in three-dimensional planning was 7.37 ± 2.07 degrees, while IMA was 8.35 ± 0.95 degrees. After osteotomy on printed plastic feet models using customized guiding templates, the angles were 7.6 ± 3.47 degrees and 7.83 ± 2.03 degrees, respectively. No significant differences were shown for virtual planning data and plastic models osteotomy results. Thus, it was proved that the three-dimensional planning method allows creation virtual and printed foot models, as well as customized guiding templates for scarf osteotomy based on the computed tomography data of patients with the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity. With this, the first study objective was achieved, and the experimental part could proceed to the clinical part.

At the study clinical part first stage, 54 patients provided the feet MSCT data in the experimental part, underwent a real scarf osteotomy using the same customized guiding templates that were used during the experiment. As a result, the mean HVA after the real surgery was 7.71 ± 3.08 degrees, while mean IMA was 7.87 ± 1.63 degrees.

When comparing the results of the data of correction of with data calculated in a virtual environment and with, there No significant differences in resulting HVA and IMA were shown for the first toe acquired mild and moderate deformity correction with real

scarf osteotomy using a customized guiding template and virtually calculated data, as well as for a biomechanical experiment data on a customized printed foot model.

Thus, technical feasibility of planning a scarf osteotomy for the first toe acquired mild and moderate deformity correction, as well as the subsequent printing of a custom-made foot model and a customized guiding template. The results of osteotomy on a plastic foot model using a customized guiding template showed the accuracy of virtual planning data transfer to a plastic model and prompted the investigational technology introduction to clinical practice. The results obtained in the first part of the clinical study, namely no significant differences in HVA and IMA showed when comparing virtual planning data and the plastic foot models surgeries results, validate the method use in clinical practice. Thus, the second study objective was achieved.

However, questions of the investigational method place in real clinical practice and how effective it would be if used by surgeons with different operative experience remained open. To answer them, further studies were required with objective clinical parameters to assess the treatment of patients with the first toe acquired mild and moderate valgus deformity using the proposed technique and without it. It seemed logical that the next stage of the study to be performed by an experienced surgeon in order to exclude the influence of subjective factors associated with insufficient skills in standard preoperative planning and manual operative skills. This is what the next chapter of this dissertation study is devoted to.

CHAPTER 4. THREE-DIMENSIONAL PLANNING METHOD APPLICATION WITH A GUIDING TEMPLATE PRODUCTION IN THE SURGICAL TREATMENT OF THE FOREFOOT ACQUIRED DEFORMITIES OF MILD AND MODERATE SEVERITY WITH SCARF OSTEOTOMY BY AN EXPERIENCED SURGEON

After determining the principal feasibility of scarf osteotomy using the three-dimensional planning method with a customized guiding template production, the question arose about the clinical significance of the proposed technology and its place in the surgery of the first toe acquired valgus deformity. To solve this issue, the second clinical part stage was conducted, at which the first and second clinical study groups were formed. The division into the groups was carried out as follows: the first clinical group included 29 patients (29 feet) underwent a set of preoperative planning using additive technologies for a customized guiding template production, which was used during the surgery; the second clinical group included the same number of patients (29 feet) underwent a set of preoperative planning without the use of additive technologies. All operations in the two groups were performed by an experienced surgeon who had performed more than 1,000 similar operations at the time of the study. The anatomical and functional medium- and long-term results of using the three-dimensional planning method with a customized guising template production in the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity in comparison with the traditional technology of planning and performing the operation were evaluated to show the impact of the proposed method on the experienced surgeon performance quality. In addition, a comparison of subgroups with and without additional osteotomies was performed to determine the impact of additional osteotomies of the main phalanx of the first toe and other metatarsal bones.

4.1. Study results in the first and second groups

The mean operative time in the first group was 32.41 ± 6.63 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the first group in the entire sample was 78.59 ± 9.03 points. With this, the assessment was satisfactory in 11 patients (37.93%), good - in 14 patients (48.28%), and excellent - in 4 patients (13.79%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the first group in the entire sample was 72.64 ± 14.13 points, mean MOXFQ score was 50.22 ± 15.6 points. Further, 12 months postsurgery, the mean AOFAS scale score in the first group in the entire sample was 85.28 ± 8.22 points. With this, the assessment was satisfactory in 4 patients (13.79%), good - in 17 patients (58.62%), and excellent - in 8 patients (27.59%).

The mean VASFA score 12 months postsurgery was in the first group in the entire sample 89.95 ± 7.01 points, mean MOXFQ score was 37.07 ± 11.73 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the first group in the entire sample was 7.92 ± 5.5 degrees, mean HVA was 6.25 ± 2.29 degrees, mean IMA was 7.35 ± 2.11 degrees, and mean DMAA was 6.72 ± 1.87 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the first group in the entire sample was 84.48 ± 8.1 points. With this, the assessment was satisfactory in 1 patient (3.45%), good - in 19 patients (65.52%), and excellent - in 9 patients (31.03%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the first group was 86.02 ± 7.02 points, mean MOXFQ score was 31.14 ± 9.11 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the first group in the entire sample was 8.51 ± 5.44 degrees, mean HVA was 6.8 ± 2.36 degrees, mean IMA was 7.78 ± 1.86 degrees, and mean DMAA was 6.91 ± 1.7 degrees.

At this time, 4 (13.79%) cases of metatarsalgia and 3 (10.34%) cases of stiffness were registered in the first group in the entire sample. With this, no deformity recurrence was observed.

The mean operative time in the second group was 31.21 ± 6.5 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the second group in the entire sample was 82.79 ± 10.1 points. With this, the assessment was satisfactory in 7 patients

(24.14%), good - in 13 patients (44.83%), and excellent - in 9 patients (31.03%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group in the entire sample was 78.21 ± 13.13 points, mean MOXFQ score was 47.03 ± 13.99 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the second group in the entire sample was 85.62 ± 9.29 points. With this, the assessment was satisfactory in 4 patients (13.79%), good - in 17 patients (58.62%), and excellent - in 8 patients (27.59%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group in the entire sample was 88.9 ± 8.72 points, mean MOXFQ score was 34.35 ± 12.37 points.

At this timepoint, the mean HVIP angle in the second group in the entire sample was 8.28 ± 5.1 degrees, mean HVA was 5.66 ± 2.57 degrees, mean IMA was 7.21 ± 1.95 degrees, and mean DMAA was 6.15 ± 1.94 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the second group in the entire sample was 87.48 ± 11.48 points. With this, the assessment was satisfactory in 3 patients (10.34%), good - in 12 patients (41.38%), and excellent - in 14 patients (48.28%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group was 90.24 ± 9.16 points, mean MOXFQ score was 30.15 ± 12.42 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the second group in the entire sample was 9.37 ± 4.44 degrees, mean HVA was 6.12 ± 2.4 degrees, mean IMA was 8.08 ± 1.69 degrees, and mean DMAA was 6.28 ± 2.3 degrees. At this time, 4 (13.79%) cases of metatarsalgia and 3 (10.34%) cases of stiffness were registered in the second group in the entire sample. With this, no deformity recurrence was reported.

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed no significant differences between the groups. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size also had no significant differences when comparing the first and second groups. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 4.1, Table 4.2).

Table 4.1. AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery in the first and second groups in the entire sample. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	p-value
AOFAS on the 6th month (points)	78,59±9,03	82,79±10,1	0,09
VASFA on the 6th month (points)	72,64±14,13	78,21±13,13	0,13
MOXFQ on the 6th month (points)	50,22±15,6	47,03±13,99	0,45
AOFAS on the 12th month (points)	85,28±8,22	85,62±9,29	0,71
VASFA on the 12th month (points)	89,95±7,01	88,9±8,72	0,83
MOXFQ on the 12th month (points)	37,07±11,73	34,35±12,37	0,33
HVIP on the 12th month (degrees)	7,92±5,5	8,28±5,1	0,71
HVA on the 12th month (degrees)	6,25±2,29	5,66±2,57	0,32
IMA on the 12th month (degrees)	7,35±2,11	7,21±1,95	0,94
DMAA on the 12th month (degrees)	6,72±1,87	6,15±1,94	0,24
AOFAS on the 24th month (points)	84,48±8,1	87,48±11,48	0,2
VASFA on the 24th month (points)	86,02±7,02	90,24±9,16	0,04
MOXFQ on the 24th month (points)	31,14±9,11	30,15±12,42	0,5
HVIP on the 24th month (degrees)	8,51±5,44	9,37±4,44	0,31
HVA on the 24th month (degrees)	6,8±2,36	6,12±2,4	0,22
IMA on the 24th month (degrees)	7,78±1,86	8,08±1,69	0,85
DMAA on the 24th month (degrees)	6,91±1,7	6,28±2,3	0,27
Operation duration(minutes)	32,41±6,63	31,21±6,5	0,47

Table 4.2. AOFAS scale assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the first and second groups. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №1 (n=29)		Group №2 (n=29)		
Evaluation of AOFAS scales on 6th month					p-value
excellent	4	13,79%	9	31,03%	0,24
satisfactory	11	37,93%	7	24,14%	
good	14	48,28%	13	44,83%	

Continued table 4.2.

Evaluation of AOFAS scales on 12th month					p-value
excellent	8	27,59%	8	27,59%	1
satisfactory	4	13,79%	4	13,79%	
good	17	58,62%	17	58,62%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month					p-value
excellent	9	31,03%	14	48,28%	0,16
satisfactory	1	3,45%	3	10,34%	
good	19	65,52%	12	41,38%	
Complications at the 24th month					p-value
Metatarsalgia	4	13,79%	4	13,79%	1
Stiffness	3	10,34%	3	10,34%	
Recurrence of deformation	0	0%	0	0%	

4.2. Study results in the first and second groups in subgroups of additional osteotomy

The mean operative time in the first group in the subgroup of additional osteotomy was 33.61 ± 6.37 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the first group in the subgroup of additional osteotomy was 77.94 ± 10.76 points. With this, the assessment was satisfactory in 9 patients (50%), good - in 6 patients (33.33%), and excellent - in 3 patients (16.67%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the first group in the subgroup of additional osteotomy was 75.81 ± 14.22 points, mean MOXFQ score was 46.32 ± 15.2 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the first group in the subgroup of additional osteotomy was 84.61 ± 8.05 points. With this, the assessment was satisfactory in 2 patients (11.11%), good - in 12 patients (66.67%), and excellent - in 4 patients (22.22%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the first group in the subgroup of additional osteotomy was 88.56 ± 7.79 points, mean MOXFQ score was 38.54 ± 12.09 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the first group in the subgroup of additional osteotomy was 6.88 ± 5.18 degrees, mean HVA was 6.01 ± 2.52 degrees, mean IMA was 7.25 ± 1.57 degrees, and mean DMAA was 6.36 ± 1.94 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the first group in the subgroup of additional osteotomy was 84.44 ± 8.61 points. With this, the assessment was satisfactory in 1 patient (5.56%), good - in 12 patients (66.67%), and excellent - in 5 patients (27.78%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the first group was 84.67 ± 8.01 points, mean MOXFQ score was 31.61 ± 9.31 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the first group in the subgroup of additional osteotomy was 7.42 ± 5.05 degrees, mean HVA was 6.52 ± 2.6 degrees, mean IMA was 7.97 ± 1.35 degrees, and mean DMAA was 6.87 ± 1.84 degrees.

At this time, 2 (11.11%) cases of metatarsalgia and 1 (5.56%) case of stiffness were registered in the first group in the subgroup of additional osteotomy. With this, no deformity recurrence was reported.

The mean operative time in the second group in the subgroup of additional osteotomy was 31.58 ± 6.88 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the second group in the subgroup of additional osteotomy was 81.26 ± 10.94 points. With this, the assessment was satisfactory in 6 patients (31.58%), good - in 8 patients (42.11%), and excellent - in 5 patients (26.32%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group in the subgroup of additional osteotomy was 76.58 ± 14.69 points, mean MOXFQ score was 48.09 ± 13.87 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the second group in the subgroup of additional osteotomy was 85.16 ± 9.96 points. With this, the assessment was satisfactory in 3 patients (15.79%), good - in 11 patients (57.89%), and excellent - in 5 patients (26.32%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the second group in the subgroup of additional osteotomy was 89.32 ± 7.49 points, mean MOXFQ score was 35.07 ± 12.29 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the second group in the subgroup of additional osteotomy was 7.72 ± 5.08 degrees, mean HVA was 5.92 ± 2.73 degrees, mean IMA was 7.5 ± 1.65 degrees, and mean DMAA was 5.85 ± 2.01 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the second group in the subgroup of additional osteotomy was 86.63 ± 12.07 points. With this, the assessment was satisfactory in 3 patients (15.79%), good - in patients (42.11%), and excellent - in 8 patients (42.11%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group was 90.16 ± 9.04 points, mean MOXFQ score was 30.86 ± 12.82 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the second group in the subgroup of additional osteotomy was 8.69 ± 4.56 degrees, mean HVA was 6.26 ± 2.66 degrees, mean IMA was 8.03 ± 1.37 degrees, and mean DMAA was 5.95 ± 2.22 degrees.

At this time, 3 (15.79%) cases of metatarsalgia and 3 (15.79%) cases of stiffness were registered in the second group in the subgroup of additional osteotomy. With this, no deformity recurrence was reported.

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed no significant differences between the groups in the subgroup of additional osteotomy. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size also had no significant differences when comparing the first and second groups in the subgroup of additional osteotomy. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 4.3, Table 4.4).

Table 4.3. AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery in the first and second groups in the subgroups of additional osteotomy. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	p-value
AOFAS on the 6th month (points)	77,94±10,76	81,26±10,94	0,36
VASFA on the 6th month (points)	75,81±14,22	76,58±14,69	0,8

Continued table 4.3.

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	p-value
MOXFQ on the 6th month (points)	46,32±15,2	48,09±13,87	0,68
AOFAS on the 12th month (points)	84,61±8,05	85,16±9,96	0,56
VASFA on the 12th month (points)	88,56±7,79	89,32±7,49	0,66
MOXFQ on the 12th month (points)	38,54±12,09	35,07±12,29	0,33
HVIP on the 12th month (degrees)	6,88±5,18	7,72±5,08	0,54
HVA on the 12th month (degrees)	6,01±2,52	5,92±2,73	0,89
IMA on the 12th month (degrees)	7,25±1,57	7,5±1,65	0,68
DMAA on the 12th month (degrees)	6,36±1,94	5,85±2,01	0,37
AOFAS on the 24th month (points)	84,44±8,61	86,63±12,07	0,37
VASFA on the 24th month (points)	84,67±8,01	90,16±9,04	0,16
MOXFQ on the 24th month (points)	31,61±9,31	30,86±12,82	0,67
HVIP on the 24th month (degrees)	7,42±5,05	8,69±4,56	0,32
HVA on the 24th month (degrees)	6,52±2,6	6,26±2,66	0,62
IMA on the 24th month (degrees)	7,97±1,35	8,03±1,37	0,96
DMAA on the 24th month (degrees)	6,87±1,84	5,95±2,22	0,2
Operation duration (minutes)	33,61 ± 6,37	31,58 ± 6,88	0,35

Table 4.4. AOFAS scale assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the first and second groups in the subgroups of additional osteotomy. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №1 (n=29)		Group №2 (n=29)		
Evaluation of AOFAS scales on 6th month					p-value
excellent	3	16,67%	5	26,32%	0,51
satisfactory	9	50%	6	31,58%	
good	6	33,33%	8	42,11%	

Continued table 4.4.

Evaluation of AOFAS scales on 12th month					p-value
excellent	4	22,22%	5	26,32%	0,85
satisfactory	2	11,11%	3	15,79%	
good	12	66,67%	11	57,89%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month					p-value
excellent	5	27,78%	8	42,11%	0,29
satisfactory	1	5,56%	3	15,79%	
good	12	66,67%	8	42,11%	
Complications at the 24th month					p-value
Metatarsalgia	2	11,11%	3	15,79%	0,52
Stiffness	1	5,56%	3	15,79%	
Recurrence of deformation	0	0%	0	0%	

4.3. Study results in the first and second groups in subgroups of no additional osteotomy

The mean operative time in the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 30.45 ± 6.88 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 79.64 ± 5.46 points. With this, the assessment was satisfactory in 2 patients (18.18%), good - in 8 patients (72.73%), excellent - in 1 patient (9.09%). At the same time, the mean VASFA scale score in patients of the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 77.45 ± 12.93 points, mean MOXFQ score was 56.59 ± 14.72 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 86.36 ± 8.79 points. With this, the assessment was satisfactory in 2 patients (18.18%), good - in 5 patients (45.45%), excellent - in 4 patients (36.36%). The mean VASFA scale score 12 months postsurgery in patients of

the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 92.23 ± 5.02 points, mean MOXFQ score was 34.66 ± 11.25 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 9.61 ± 5.84 degrees, mean HVA was 6.64 ± 1.9 degrees, mean IMA was 7.51 ± 2.87 degrees, and mean DMAA was 7.3 ± 1.66 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 84.55 ± 7.61 points. With this, the assessment was good in 7 patients (63.64%), and excellent - in 4 patients (36.36%). At the same time, the mean VASFA scale score in patients of the first group was 88.23 ± 4.47 points, mean MOXFQ score was 30.36 ± 9.17 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the first group in the subgroup of no additional osteotomy was 10.29 ± 5.81 degrees, mean HVA was 7.25 ± 1.95 degrees, mean IMA was 7.49 ± 2.53 degrees, and mean DMAA was 6.96 ± 1.54 degrees.

At this time, 2 (18.18%) cases of metatarsalgia and 2 (18.18%) cases of stiffness were registered in the first group in the subgroup of no additional osteotomy. With this, no deformity recurrence was reported.

The mean operative in the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 30.5 ± 5.99 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 85.7 ± 7.99 points. With this, the assessment was satisfactory in 1 patient (10%), good - in 5 patients (50%), excellent - in 4 patients (40%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 81.3 ± 9.39 points, mean MOXFQ score was 45 ± 14.74 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 86.5 ± 8.29 points. With this, the assessment was satisfactory in 1 patient (10%), good - in 6 patients (60%),excellent - in 3 patients (30%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 88.1 ± 11.11 points, mean MOXFQ score was 33 ± 13.07 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 9.34 ± 5.23 degrees, mean HVA was 5.17 ± 2.29 degrees, mean IMA was 6.66 ± 2.43 degrees, and mean DMAA was 6.71 ± 1.77 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 89.1 ± 10.68 points. With this, the assessment was good in 4 patients (40%), and excellent - in 6 patients (60%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the second group was 90.4 ± 9.87 points, mean MOXFQ score was 28.8 ± 12.19 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the second group in the subgroup of no additional osteotomy was 10.65 ± 4.13 degrees, mean HVA was 5.85 ± 1.9 degrees, mean IMA was 8.19 ± 2.26 degrees, and mean DMAA was 6.9 ± 2.42 degrees.

At this time, 1 (10%) case of metatarsalgia and no (0%) cases of stiffness were registered in the second group in the subgroup of no additional osteotomy. With this, no deformity recurrence was reported.

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed no significant differences between the groups in the subgroup of no additional osteotomy. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size also had no significant differences when comparing the first and second groups in the subgroup of no additional osteotomy. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 4.5, Table 4.6).

Table 4.5. AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery in the first and second groups in the subgroups of no additional osteotomy. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	p-value
AOFAS on the 6th month (points)	79,64±5,46	85,7±7,99	0,06
VASFA on the 6th month (points)	77,45±12,93	81,3±9,39	0,23

Continued table 4.5.

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)	p-value
MOXFQ on the 6th month (points)	56,59±14,72	45±14,74	0,09
AOFAS on the 12th month (points)	86,36±8,79	86,5±8,29	0,94
VASFA on the 12th month (points)	92,23±5,02	88,1±11,11	0,86
MOXFQ on the 12th month (points)	34,66±11,25	33±13,07	0,65
HVIP on the 12th month (degrees)	9,61±5,84	9,34±5,23	0,81
HVA on the 12th month (degrees)	6,64±1,9	5,17±2,29	0,15
IMA on the 12th month (degrees)	7,51±2,87	6,66±2,43	0,43
DMAA on the 12th month (degrees)	7,3±1,66	6,71±1,77	0,4
AOFAS on the 24th month (points)	84,55±7,61	89,1±10,68	0,34
VASFA on the 24th month (points)	88,23±4,47	90,4±9,87	0,26
MOXFQ on the 24th month (points)	30,36±9,17	28,8±12,19	0,6
HVIP on the 24th month (degrees)	10,29±5,81	10,65±4,13	0,86
HVA on the 24th month (degrees)	7,25±1,95	5,85±1,9	0,1
IMA on the 24th month (degrees)	7,49±2,53	8,19±2,26	0,81
DMAA on the 24th month (degrees)	6,96±1,54	6,9±2,42	0,86
Operation duration (minutes)	30,45±6,88	30,5±5,99	0,97

Table 4.6. AOFAS scale assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the first and second groups in the subgroups of no additional osteotomy. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №1 (n=29)		Group №2 (n=29)		
Evaluation of AOFAS scales on 6th month					p-value
excellent	1	9,09%	4	40%	0,25
satisfactory	2	18,18%	1	10%	
good	8	72,73%	5	50%	

Continued table 4.6.

Evaluation of AOFAS scales on 12th month					p-value
excellent	4	36,36%	3	30%	0,77
satisfactory	2	18,18%	1	10%	
good	5	45,45%	6	60%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month					p-value
excellent	4	36,36%	6	60%	0,28
satisfactory	0	0%	0	0%	
good	7	63,64%	4	40%	
Complications at the 24th month					p-value
Metatarsalgia	2	18,18%	1	10%	0,28
Stiffness	2	18,18%	0	0%	
Recurrence of deformation	0	0%	0	0%	

4.4. Subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy results comparison within each group

This section presents comparative results between subgroups of additional osteotomies and of no additional osteotomies within each group.

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed no significant differences between the subgroup within each group depending on whether an additional osteotomy was performed. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size also had no significant differences when comparing the subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence. No within group difference between subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed indicates that additional osteotomy has no effect on the overall surgery result (Table 4.7).

Table 4.7. Within group difference between subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed for AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, and complications reported.

Parameter	Group №1 (n=29)	Group №2 (n=29)
p-value		
AOFAS on 6th month	0,3	0,35
VASFA on 6th month	0,16	0,58
MOXFQ on 6th month	0,08	0,54
AOFAS on 12th month	0,54	0,98
VASFA on 12th month	0,18	0,98
MOXFQ on 12th month	0,51	0,6
HVIP on 12th month	0,24	0,7
HVA on 12th month	0,61	0,71
IMA on 12th month	0,74	0,19
DMAA on 12th month	0,26	0,27
AOFAS on 24th month	0,79	0,76
VASFA on 24th month	0,18	0,98
MOXFQ on 24th month	0,77	0,61
HVIP on 24th month	0,17	0,3
HVA on 24th month	0,44	0,91
IMA on 24th month	0,82	0,91
DMAA on 24th month	0,88	0,24
Evaluation of AOFAS scales on 6th month	0,12	0,42
Evaluation of AOFAS scales on 12th month	0,53	0,91
Evaluation of AOFAS scales on 24th month	0,68	0,36
Complications at the 24th month	0,44	0,34
Recurrence of deformity by the 24th month	1	1

Clinical case No. 2 is presented for demonstration. The results were included in the second group (Figure 4.1).

Patient P., female, 33 years old. The patient's BMI was 22.63 km/m^2, which was interpreted as normal body weight. The deformity degree was considered moderate.

HVIPA before surgery - 5.68 degrees, HVA - 27.58 degrees, IMA - 17.05 degrees, DMAA - 9.24 degrees.

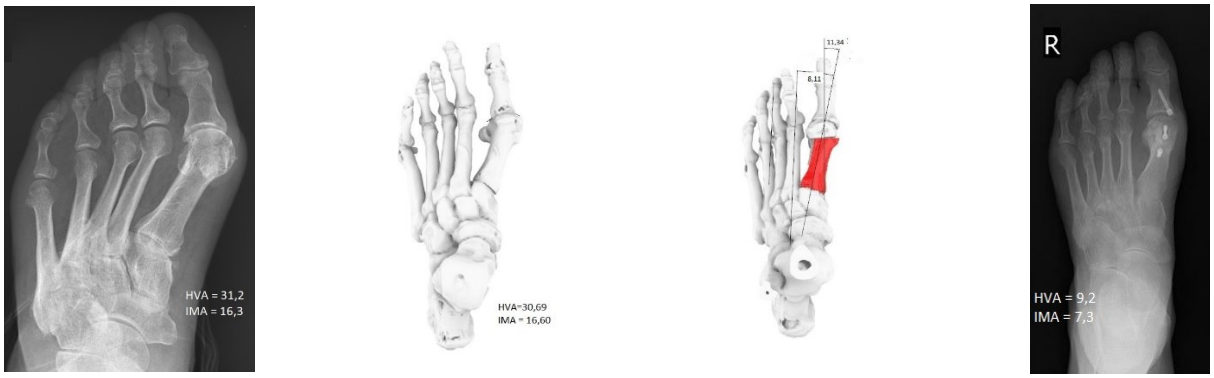
The AOFAS scale score before surgery - 55 points, VASFA score - 21 points, MOXFQ score - 56.25 points.

The virtual environment planned HVA correction - 8.3 degrees, IMA correction - 4.5 degrees. The operation was performed according to the proposed method described above using a customized guiding template. Taking into account HVIPA of more than 9 degrees, additional Akin osteotomy was performed with a screw fixation.

The operative time using the guiding template was 40 minutes. No complications were reported. Rehabilitation was carried out in accordance with the study protocol.

HVIPA 12 months postsugregy - 7.82 degrees, HVA - 7.44 degrees, IMA - 7.52 degrees, DMAA - 4.8 degrees. HVIPA 24 months postsurgery - 8.32 degrees, HVA - 7.23 degrees, IMA - 8.1 degrees, DMAA - 4.2 degrees.

AOFAS scale score 6 months postsurgery - 85 points, VASFA score – 65 points, MOXFQ score - 22.5 points. AOFAS scale score 12 months postsurgery - 85 points, VASFA score – 71 points, MOXFQ score - 15.2 points. AOFAS scale score 24 months postsurgery - 92 points, VASFA score – 77.5 points, MOXFQ score - 12.45 points. The AOFAS assessment of satisfaction with the foot function - “excellent”.



A B C D

Figure 4.1. Clinical case No. 2: A – Before surgery foot radiograph in dorsoplantar projection; B – The foot radiograph in dorsoplantar projection 24 months postsurgery; C, D - deformity correction virtual planning

4.5. Results discussion

This chapter presented the study clinical part second stage results [2]. The anatomical and functional medium- and long-term results of the three-dimensional planning method use with a customized guiding template production in the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity by an experienced surgeon were evaluated. To do this, the results of patients treatment in the first and second clinical study groups were analyzed. The patients of the first clinical study group underwent a set of preoperative planning using additive technologies with a customized guiding template production, which was used during the surgery. The patients of the second clinical study group underwent a set of preoperative planning without the use of additive technologies; all calculations were performed using the traditional method with planning on two-dimensional radiographs; corrective osteotomy was performed based on the surgeon's experience. All operations in this group were performed by an experienced surgeon.

No significant differences were shown for anatomical and functional results of the first toe acquired mild and moderate hallux valgus deformity surgical treatment with the scarf osteotomy by an experienced surgeon using the three-dimensional planning with a guiding template and without using the proposed method. The obtained results demonstrated that the three-dimensional planning method with a customized guiding template production does not affect the results of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity surgical treatment if the operation is performed by a surgeon with sufficient experience. Thus, the result of this clinical study part provided the next study objective achievement. In addition, a comparison of subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed showed that additional osteotomy does not affect the medium- and long-term results of the first toe acquired mild and moderate hallux valgus deformity treatment.

The previous study stages showed the fundamental feasibility of the three-dimensional planning method use with a customized guiding template production in the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity. On the other hand, it was found out that the proposed method does not affect the

results of the operation performed by an experienced surgeon. However, it could be assumed that this method could positively affect the similar operation performance of a surgeon mastering the technique, since it allows planning the operation accurately enough and perform the main sawings, thereby minimizing the lack of preoperative planning skills and manual operative skills. Nevertheless, for a more objective proof of this hypothesis, it is necessary to initially determine the baseline surgical skill level of the surgeon mastering the technique. This task was solved by determining the results of the investigational pathology treatment with traditional methods of preoperative planning and the operations performed by a surgeon mastering the technique and comparing them with those of similar operations performed by an experienced surgeon, which is described in the next chapter of the dissertation thesis.

CHAPTER 5. SCARF OSTEOTOMY PERFROMENCE QUALITY BASELINE LEVEL OF A SURGEON MASTERING THE TECHNIQUE

This chapter evaluates the anatomical and functional medium- and long-term results of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity surgical treatment by a surgeon mastering the scarf osteotomy without using the three-dimensional planning method or a customized guiding template production. In addition, similarly with previous clinical groups, treatment results were compared in subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy. The data obtained in this study part allowed determination surgical skill baseline level of a surgeon mastering the technique and compare these results with those of similarly performed operations by an experienced surgeon.

5.1. Study results in the third group

The mean operative time in the third group was 33.82 ± 13.32 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the third group was 70.26 ± 7.13 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 6 patients (17.65%), and as good - in 28 patients (82.35%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the third group was 70.25 ± 13.81 points, mean MOXFQ score was 53.82 ± 13.6 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the third group was 77.21 ± 10.58 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 13 patients (38.24%), as good - in 17 patients (50%), as excellent - in 4 patients (11.76%). The mean VASFA score in patients of the third group 12 months postsurgery was 81.46 ± 9.55 points, mean MOXFQ score was 39.26 ± 12.8 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the third group was 8.25 ± 4.1 degrees, mean HVA was 8.99 ± 2.58 degrees, mean IMA was 9.1 ± 1.9 degrees, and mean DMAA was 6.99 ± 1.84 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the third group was 76.94 ± 8.72 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 14 patients (41.18%), as good - in 18 patients (52.94%), as excellent - in 2 patients (5.88%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the third group was 77.56 ± 9.32 points, mean MOXFQ score was 35.21 ± 13.07 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the third group was 8.81 ± 4.14 degrees, mean HVA was 9.45 ± 2.29 degrees, mean IMA was 9.96 ± 2.44 degrees, and mean DMAA was 6.28 ± 2.76 degrees.

At this time, 7 (20.59%) cases of metatarsalgia and 2 (5.88%) cases of stiffness were registered in the third group. With this, 7 (20.59%) deformity recurrences were reported.

The mean operative time in the third group in the subgroup of additional osteotomy was 34 ± 16.51 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the third group in the subgroup of additional osteotomy was 70.9 ± 8.13 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 4 patients (20%), and as good - in 16 patients (80%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the third group in the subgroup of additional osteotomy was 70.85 ± 14.37 points, mean MOXFQ score was 51.56 ± 13.63 points.

The mean AOFAS scale score 12 months after surgery in the third group in the subgroup of additional osteotomy was 79.3 ± 10.7 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 6 patients (30%), as good - in 11 patients (55%), and as excellent - in 3patients (15%). The mean VASFA score 12 months after surgery in patients of the third group in the subgroup of additional osteotomy was 80.17 ± 11.33 points, mean MOXFQ score was 40.56 ± 13.53 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the third group in the subgroup of additional osteotomy was 8.5 ± 3.97 degrees, mean HVA was 9.21 ± 3.02 degrees, mean IMA was 9.01 ± 1.91 degrees, and mean DMAA was 6.6 ± 1.86 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the third group in the subgroup of additional osteotomy was 77.45 ± 8.58 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 9 patients (45%), as good - in 9 patients (45%), as excellent -

in 2 patients (10%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the third group in the subgroup of additional osteotomy was 75.78 ± 10.97 points, mean MOXFQ score was 36.66 ± 13.89 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the third group in the subgroup of additional osteotomy was 9.09 ± 3.99 degrees, mean HVA was 9.16 ± 2.35 degrees, mean IMA was 9.42 ± 2.39 degrees, mean DMAA was 6.69 ± 2.94 degrees.

At this time, 4 (20%) cases of metatarsalgia and 1 (5%) case of stiffness were registered in the third group in the subgroup of additional osteotomy. With this, 4 (20%) deformity recurrences were reported.

The mean operative time in the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 33.57 ± 7.19 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 69.36 ± 5.56 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 2 patients (14.29%), as good - in 12 patients (85.71%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 69.39 ± 13.45 points, mean MOXFQ score was 57.05 ± 13.37 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 74.21 ± 10.02 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 7 patients (50%), as good - in 6 patients (42.86%), as excellent - in 1 patient (7.14%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 83.29 ± 6.15 points, mean MOXFQ score was 37.41 ± 11.92 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 7.88 ± 4.41 degrees, mean HVA was 8.67 ± 1.84 degrees, mean IMA was 9.22 ± 1.95 degrees, mean DMAA was 7.54 ± 1.73 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 76.21 ± 9.18 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 9 patients (64.29%), as good - in 5 patients (35.71%). At the

same time, the mean VASFA score in patients of the third group was 80.11 ± 5.73 points, mean MOXFQ score was 33.12 ± 11.98 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the third group in the subgroup of no additional osteotomy was 8.41 ± 4.46 degrees, mean HVA was 9.86 ± 2.23 degrees, mean IMA was 10.72 ± 2.38 degrees, mean DMAA was 5.7 ± 2.46 degrees.

At this time, 3 (21.43%) cases of metatarsalgia and 1 (7.14%) case of stiffness were registered in the third group in the subgroup of no additional osteotomy. With this, 3 (21.43%) deformity recurrences were reported.

5.2. Results comparison for the third and first groups

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed some significant differences between the groups. The AOFAS scale score 6 month postsurgery differed significantly between the third and first group ($p=0.01$), with better results in the first group. A statistically significant difference was also found in the AOFAS scale categorical assessment between the third and first group ($p<0.01$), with better results in the first group.

There was a significant difference in the AOFAS scale score 12 month postsurgery between the third and first group ($p=0.03$), and in the VASFA score ($p=0.01$), both with better results in the first group. A statistically significant difference was also found in the AOFAS categorical assessment between the third and first group ($p=0.03$), with better results in the first group.

A significant difference was obtained for the AOFAS scale score 24 months postsurgery between the third and first group ($p=0.02$), and VASFA score ($p<0.01$), both with better results in the first group. Also at this follow-up timepoint, a statistically significant difference was found in the AOFAS categorical assessment between the third and first group ($p<0.01$), with better results in the first group.

Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size showed significant differences for HVA 12 months postsurgery between the

third and first group ($p<0.01$), with better results in the first group. The HVA and IMA differences between third and first group remained significant 24 months postsurgery ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively).

There were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 5.1, Table 5.2).

Table 5.1. AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time in the third and first groups. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №3 (n=34)	Group №1 (n=29)	p-value
AOFAS on the 6th month (points)	70,26±7,13	78,59±9,03	0,01
VASFA on the 6th month (points)	70,25±13,81	72,64±14,13	1
MOXFQ on the 6th month (points)	53,82±13,6	50,22±15,6	1
AOFAS on the 12th month (points)	77,21±10,58	85,28±8,22	0,03
VASFA on the 12th month (points)	81,46±9,55	89,95±7,01	0,01
MOXFQ on the 12th month (points)	39,26±12,8	37,07±11,73	1
HVIP on the 12th month (degrees)	8,25±4,1	7,92±5,5	1
HVA on the 12th month (degrees)	8,99±2,58	6,25±2,29	0
IMA on the 12th month (degrees)	9,1±1,9	7,35±2,11	0
DMAA on the 12th month (degrees)	6,99±1,84	6,72±1,87	1
AOFAS on the 24th month (points)	76,94±8,72	84,48±8,1	0,02
VASFA on the 24th month (points)	77,56±9,32	86,02±7,02	0
MOXFQ on the 24th month (points)	35,21±13,07	31,14±9,11	1
HVIP on the 24th month (degrees)	8,81±4,14	8,51±5,44	1
HVA on the 24th month (degrees)	9,45±2,29	6,8±2,36	0
IMA on the 24th month (degrees)	9,96±2,44	7,78±1,86	0
DMAA on the 24th month (degrees)	6,28±2,76	6,91±1,7	0,9
Operation duration (minutes)	33,82±13,32	32,41±6,63	1

Table 5.2. AOFAS scale categorical assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the third and first groups. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №3 (n=34)		Group №1 (n=29)		p-value
Evaluation of AOFAS scales on 6th month					p-value
excellent	0	0%	4	13,79%	<0,01
satisfactory	28	82,35%	11	37,93%	
good	6	17,65%	14	48,28%	
Evaluation of AOFAS scales on 12th month					p-value
excellent	4	11,76%	8	27,59%	0,03
satisfactory	13	38,24%	4	13,79%	
good	17	50%	17	58,62%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month					p-value
excellent	2	5,88%	9	31,03%	<0,01
satisfactory	14	41,18%	1	3,45%	
good	18	52,94%	19	65,52%	
Complications at the 24th month					p-value
Metatarsalgia	7	20,59%	4	13,79%	0,16
Stiffness	2	5,88%	3	10,34%	
Recurrence of deformation	7	20,59%	0	0%	

To demonstrate a complication resulting from an operation performed by a surgeon mastering the technique before using the three-dimensional planning method with a customized guiding template production, clinical case No. 3 of a patient from the 3rd group is given below (Figure 5.1).

Clinical case No. 3. Patient V., female, 41 years old. The patient's BMI was 28.31 kg/m^2, which was interpreted as overweight. The deformity degree was considered moderate. HVIPA before surgery - 10.17 degrees, HVA - 34.12 degrees, IMA - 16.03 degrees, DMAA - 11.52 degrees.

AOFAS scale score before surgery - 42 points, VASFA score – 24 points, MOXFQ score - 66 points. The AOFAS assessment of foot function satisfaction was “poor”.

HVIPA 12 months postsurgery - 6.44 degrees, HVA - 16.2 degrees, IMA - 13.5 degrees, DMAA - 7.8 degrees. HVIPA 24 months postsurgery - 6.74 degrees, HVA - 16.5 degrees, IMA - 13.7 degrees, DMAA - 7.9 degrees.

AOFAS scale score 6 months postsurgery - 72 points, VASFA score – 65 points, MOXFQ score - 57 points. AOFAS scale score 12 months postsurgery - 70 points, VASFA score – 72 points, MOXFQ score - 45 points. AOFAS scale score 24 months postsurgery - 70 points, VASFA score – 72 points, MOXFQ score - 45 points.

The operative time was 45 minutes. Additional Akin osteotomy and osteotomies of 2,3,4,5 metatarsal bones were performed, since shortening was identified during the metatarsal bones length calculation [85] (see detailed method description in section 2.2.3 Visual procedure planning). Complications were an asymptomatic deformity recurrence, mediatization of the metatarsal head registered 12 months postsurgery and persisted for 24 months postsurgery. Postoperative HVA was 7.1 degrees, IMA was 10.2 degrees; the recurrent deformity HVA was 16.2 degrees, IMA was 13.5 degrees. The deformity degree was estimated as moderate. The patient complained of the deformity recurrence.

A

B

Figure 5.1. Clinical case No. 3: Radiograph in the dorsal projection A - before surgery, B - 12 months postsurgery

Thus, the evaluation of anatomical and functional medium- and long-term results of surgical treatment of the first toe acquired mild and moderate valgus deformity by a surgeon mastering the scarf osteotomy without using the three-dimensional planning

method or a customized guiding template production showed significant differences in a number of key parameters compared with such results shown by an experienced surgeon showed, with superiority of the latter. The angular deformation indicators, IMA and HVA, as well as the AOFAS scale and VASFA scores 6, 12 and 24 months postsurgery indicated significantly worse results for a surgeon who has just begun to master the scarf osteotomy. The results of the study showed that the experience in traditional corrective osteotomy is extremely important and significantly affects the final result of treatment. Thus, the next study objective was achieved.

Whether the use of three-dimensional planning method with a customized guiding template production in the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity has the potential to improve the results of operation performed by a surgeon mastering the technique was determined at the fourth clinical study stage, the results of which are presented in the next chapter.

CHAPTER 6. THREE-DIMENSIONAL PLANNING WITH A CUSTOMIZED GUIDING TEMPLATE PRODUCTION IN THE WORK OF A SURGEON MASTERING THE TECHNIQUE OF CORRECTIVE SCARF OSTEOTOMY

This chapter represents the results of the study clinical part fourth i.e. final stage.

The clinical study first stage showed that an experienced surgeon does not need to apply the three-dimensional planning method using customized guiding templates, since no significant differences in results for surgeries with and without the use of the investigational method were obtained. At the same time, the previous chapter described that baseline skills of a surgeon mastering the corrective scarf osteotomy in the traditional way are worse than the skills of an experienced surgeon. This is evidenced by significant differences in functional and anatomical results, with better ones of an experienced surgeon. Better preoperative planning quality and the first metatarsal sawing precision, which could be achieved by a surgeon mastering the technique with the three-dimensional planning use with a customized guiding template production, were suggested to improve the results of operation performed by such surgeon.

To prove this hypothesis, the results of the fourth clinical study group were analyzed. The group included 34 specialized patients who underwent the operation by a surgeon mastering the technique using the investigational method. Subsequently, the same surgeon performed a fairly large series of 187 operations in patients included in the fifth clinical study group in the traditional way without using the three-dimensional planning method or customized guiding templates production.

Anatomical and functional medium- and long-term results of the fourth and fifth clinical study groups treatment were compared with each other, as well as with the results the third group treatment, which were outlined in the previous chapter of the dissertation thesis.

In addition, for greater objectification of the results obtained, the results of the second and fifth clinical study groups treatment, where operations were performed in the traditional way, were compared. The only differences were that surgical treatment for patients of the second group was performed by an experienced surgeon, and for patients

of the fifth group – by a surgeon mastering the technique after performing a series of operations using the three-dimensional planning method with customized guiding templates.

Moreover, similarly with the previous chapters of the study clinical part, the effect of additional Akin osteotomy and minimally invasive 2,3,4,5 metatarsal bones osteotomies on the anatomical and functional results of the scarf osteotomy operation for the first toe acquired mild and moderate valgus deformity of correction was evaluated.

6.1. Results comparison for the third, fourth and fifth groups

The results of the third group are presented in Chapter 4.

The mean operative time in the fourth group was 28.24 ± 6.14 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the fourth group was 77.5 ± 9.66 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 12 patients (35.29%), as good - in 19 patients (55.88%), as excellent - in 3 patients (8.82%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fourth group was 77.29 ± 13.27 points, mean MOXFQ score was 50.26 ± 16.27 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the fourth group was 85.41 ± 9.51 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 6 patients (17.65%), as good - in 16 patients 47.06%), as excellent - in 12 patients (35.29%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the fourth group was 89.35 ± 8.15 points, mean MOXFQ score was 35.29 ± 11.21 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the fourth group was 9.12 ± 5.35 degrees, mean HVA was 6.35 ± 3.02 degrees, mean IMA was 6.48 ± 1.24 degrees, mean DMAA was 6.31 ± 2.66 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the fourth group was 85.62 ± 8.09 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 3 patients (8.82%), as good - in 15 patients (44.12%), as excellent - in 16 patients (47.06%). At the same time,

the mean VASFA score in patients of the fourth group was 87.06 ± 6.65 points, mean MOXFQ score was 31.06 ± 11.16 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the fourth group was 9.68 ± 5.31 degrees, mean HVA was 6.79 ± 3.03 degrees, mean IMA was 6.81 ± 1.12 degrees, mean DMAA was 6.32 ± 3.13 degrees.

At this time, 1 (2.94%) case of metatarsalgia and 4 (11.76%) cases of stiffness were registered in the fourth group. With this, 4 (11.76%) deformity recurrences were reported.

The mean operative time in the fifth group was 29.85 ± 9.16 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the fifth group was 77.35 ± 12.24 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 66 patients (35.29%), as good - in 89 patients (47.59%), as excellent - in 32 patients (17.11%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fifth group was 76.3 ± 14.53 points, mean MOXFQ score was 49.87 ± 15.81 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the fifth group was 83.11 ± 8.84 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 40 patients (21.39%), as good - in 112 patients (59.89%), as excellent - in 35 patients (18.72%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the fifth group was 86.71 ± 7.91 points, mean MOXFQ score was 37.1 ± 9.97 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the fifth group was 7.1 ± 4.29 degrees, mean HVA was 5.83 ± 4.46 degrees, mean IMA was 6.98 ± 1.6 degrees, mean DMAA was 5.53 ± 2.72 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the fifth group was 84.16 ± 9.59 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 30 patients (16.04%), as good - in 103 patients (55.08%), as excellent - in 54 patients (28.88%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fifth group was 83.66 ± 11 points, mean MOXFQ score was 33.48 ± 12.13 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the fifth group was 7.69 ± 4.27 degrees, mean HVA was 6.42 ± 4.45 degrees, mean IMA was 7.59 ± 1.67 degrees, mean DMAA was 5.22 ± 2.68 degrees.

At this time, 15 (8.02%) cases of metatarsalgia and 17 (9.09%) cases of stiffness were registered in the fifth group. With this, 26 (13.9%) deformity recurrences were reported.

A comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA and MOXFQ at all follow-up timepoints showed some significant differences. The AOFAS scale score 6 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. At the same time, VASFA score differed significantly between the third and fourth group ($p=0.07$) and the third and fifth group ($p=0.06$) with better results in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups.

The AOFAS scale score 12 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p=0.01$), with better results in of the fourth and fifth groups, as well as VASFA score between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p=0.02$), with better results in the fourth group. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.04$), with better results in the fourth group.

The AOFAS scale score 24 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in of the fourth and fifth groups, as well as VASFA score between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p< 0.01$), with better results in in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p <0.01$), with better results in the fourth and fifth groups.

Anatomical results of deformity correction measured in HVIP, HVA, IMA and DMAA sizes showed significant HVA differences between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth group. At the same time, IMA differed between the third and fourth group ($p<0.01$) and

the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth group. The HVA and IMA differences remained significant 24 months postsurgery between the third and fourth group ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively) and the third and fifth group ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively).

There were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 6.1, Table 6.2, Table 6.3, Figure 6.1, Figure 6.2).

Table 6.1.AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time in the third, fourth and fifth groups. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
AOFAS on the 6th month (points)	70,26±7,13	77,5±9,66	77,35±12,24	<0,01
VASFA on the 6th month (points)	70,25±13,81	77,29±13,27	76,3±14,53	0,05
MOXFQ on the 6th month (points)	53,82±13,6	50,26±16,27	49,87±15,81	0,38
AOFAS on the 12th month (points)	77,21±10,58	85,41±9,51	83,11±8,84	<0,01
VASFA on the 12th month (points)	81,46±9,55	89,35±8,15	86,71±7,91	<0,01
MOXFQ on the 12th month (points)	39,26±12,8	35,29±11,21	37,1±9,97	0,38
HVIP on the 12th month (degrees)	8,25±4,1	9,12±5,35	7,1±4,29	0,05
HVA on the 12th month (degrees)	8,99±2,58	6,35±3,02	5,83±4,46	<0,01
IMA on the 12th month (degrees)	9,1±1,9	6,48±1,24	6,98±1,6	<0,01
DMAA on the 12th month (degrees)	6,99±1,84	6,31±2,66	5,53±2,72	<0,01
AOFAS on the 24th month (points)	76,94±8,72	85,62±8,09	84,16±9,59	<0,01
VASFA on the 24th month (points)	77,56±9,32	87,06±6,65	83,66±11	<0,01
MOXFQ on the 24th month (points)	35,21±13,07	31,06±11,16	33,48±12,13	0,4
HVIP on the 24th month (degrees)	8,81±4,14	9,68±5,31	7,69±4,27	0,05

Continued table 6.1.

Parameter	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
HVA on the 24th month (degrees)	9,45±2,29	6,79±3,03	6,42±4,45	<0,01
IMA on the 24th month (degrees)	9,96±2,44	6,81±1,12	7,59±1,67	<0,01
DMAA on the 24th month (degrees)	6,28±2,76	6,32±3,13	5,22±2,68	0,01
Operation duration (minutes)	33,82±13,32	28,24±6,14	29,85±9,16	0,11

Table 6.2. AOFAS scale categorical assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the third, fourth and fifth groups. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №3 (n=34)		Group №4 (n=34)		Group №5 (n=187)		
Evaluation of AOFAS scales on 6th month							p-value
excellent	0	0%	3	8,82%	32	17,11%	<0,01
satisfactory	28	82,35%	12	35,29%	66	35,29%	
good	6	17,65%	19	55,88%	89	47,59%	
Evaluation of AOFAS scales on 12th month							p-value
excellent	4	11,76%	12	35,29%	35	18,72%	0,03
satisfactory	13	38,24%	6	17,65%	40	21,39%	
good	17	50%	16	47,06%	112	59,89%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month							p-value
excellent	2	5,88%	16	47,06%	54	28,88%	<0,01
satisfactory	14	41,18%	3	8,82%	30	16,04%	
good	18	52,94%	15	44,12%	103	55,08%	
Complications at the 24th month							p-value
Metatarsalgia	7	20,59%	1	2,94%	15	8,02%	0,53
Stiffness	2	5,88%	4	11,76%	17	9,09%	
Recurrence of deformation	7	20,59%	4	11,76%	26	13,9%	

Table 6.3. Pairwise comparison of AOFAS scale, VASFA, MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time, AOFAS scale categorical assessments 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported for the third, fourth and fifth groups.

Parameter	3 and 4 groups	3 and 5 groups	4 and 5 groups
AOFAS on the 6th month (points)	<0,01	<0,01	0,74
VASFA on the 6th month (points)	0,07	0,06	0,82
MOXFQ on the 6th month (points)	0,56	0,53	0,91
AOFAS on the 12th month (points)	0,01	0,01	0,17
VASFA on the 12th month (points)	<0,01	0,02	0,11
MOXFQ on the 12th month (points)	0,62	0,68	0,68
HVIP on the 12th month (degrees)	0,51	0,26	0,1
HVA on the 12th month (degrees)	<0,01	<0,01	0,09
IMA on the 12th month (degrees)	<0,01	<0,01	0,14
DMAA on the 12th month (degrees)	0,3	0,1	0,23
AOFAS on the 24th month (points)	<0,01	<0,01	0,23
VASFA on the 24th month (points)	<0,01	<0,01	0,11
MOXFQ on the 24th month (points)	0,63	0,63	0,63
HVIP on the 24th month (degrees)	0,54	0,26	0,11
HVA on the 24th month (degrees)	<0,01	<0,01	0,21
IMA on the 24th month (degrees)	<0,01	<0,01	0,12
DMAA on the 24th month (degrees)	0,87	0,06	0,06
Operation duration (minutes)	0,14	0,18	0,33
Evaluation of AOFAS scales for the 6th month	<0,01	<0,01	0,44
Evaluation of AOFAS scales for the 12th month	0,04	0,1	0,09
Evaluation of AOFAS scales for the 24th month	<0,01	<0,01	0,1
Complications at the 24th month	0,07	0,07	0,53

For greater clarity, the results of the groups comparisons are rearranged in the “box-plot” plots with a line indicating the mean values.

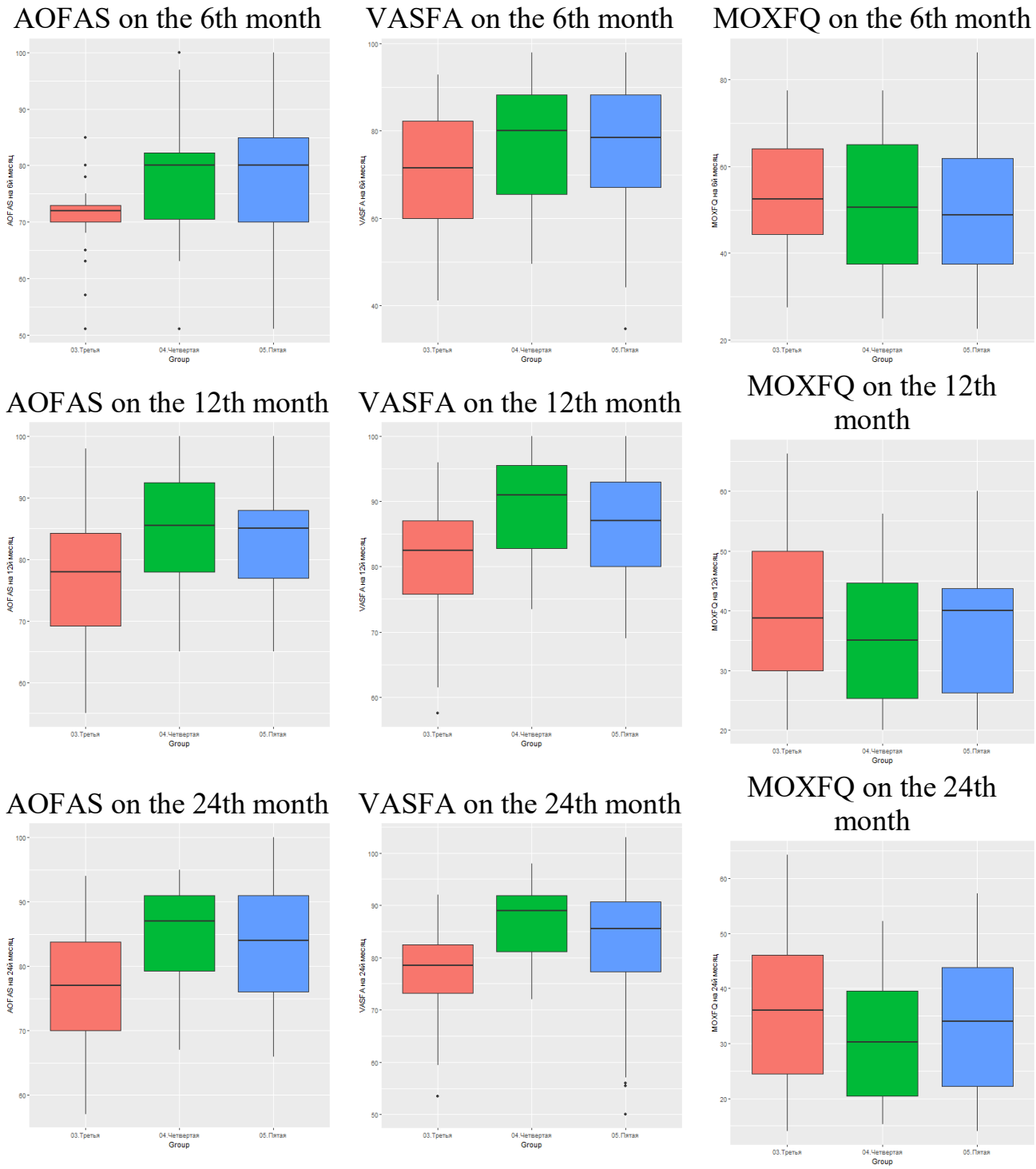
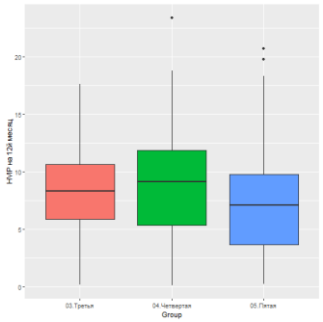
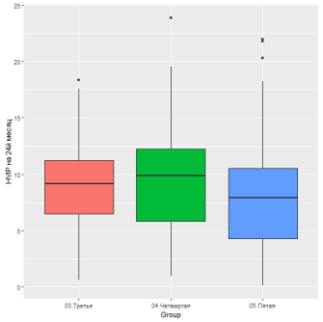


Figure 6.1 Results of the questionnaire in 3 (red), 4 (green), 5 (blue) groups.

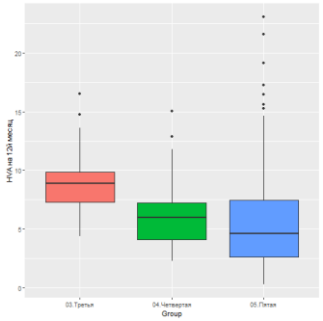
HVIP on the 12th month



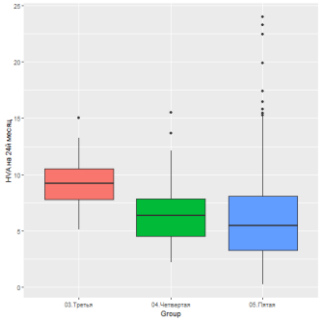
HVIP on the 24th month



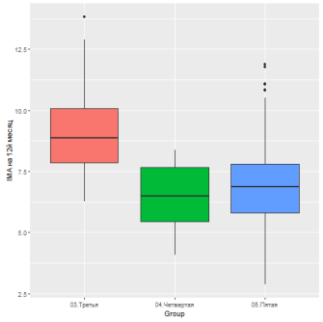
HVA on the 12th month



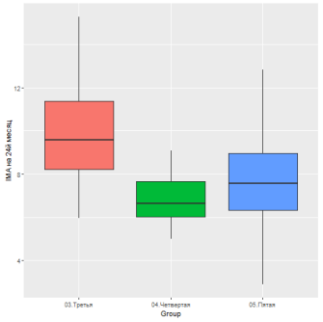
HVA on the 24th month



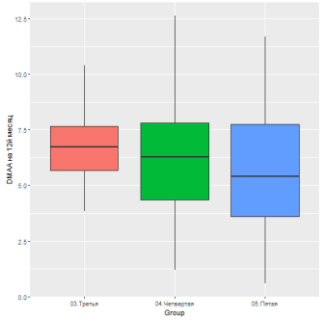
IMA on the 12th month



IMA on the 24th month



DMAA on the 12th month



DMAA on the 24th month

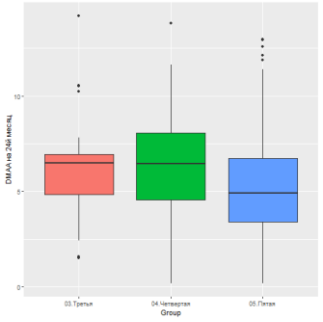


Figure 6.2. Results of radiological indicators in 3 (red), 4 (green), 5 (blue) groups.

6.2. Results comparison for the third, fourth and fifth groups in the subgroup of additional osteotomy

The results obtained in patients of the third group were presented in Chapter 4.

The mean operative time in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 28.5 ± 6.09 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 77.8 ± 9.51 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 7 patients (35%), as good - in 10 patients (50%), as excellent - in 3 patients (15%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 77.53 ± 12.93 points, mean MOXFQ score was 49.88 ± 17.17 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 85 ± 10.11 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 5 patients (25%), as good - in 7 patients (35%), as excellent - in 8 patients (40%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 89.12 ± 8.69 points, mean MOXFQ score was 34 ± 10.83 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 8.33 ± 5.96 degrees, mean HVA was 6.65 ± 3.08 degrees, mean IMA was 6.41 ± 1.31 degrees, mean DMAA was 6.54 ± 2.22 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 84.8 ± 7.81 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 1 patient (5%), as good - in 11 patients (55%), as excellent - in 8 patients (40%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fourth group was 86.83 ± 6.96 points, mean MOXFQ score was 29.5 ± 10.73 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy was 8.87 ± 5.88 degrees, mean HVA was 7.11 ± 3.08 degrees, mean IMA was 6.89 ± 1.17 degrees, mean DMAA was 6.23 ± 2.85 degrees.

At this time, 1 (5%) case of metatarsalgia and 2 (10%) cases of stiffness were registered in the fourth group in the subgroup of additional osteotomy. With this, 3 (15%) deformity recurrences were reported.

The mean operative time in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 29.27 ± 7.19 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 77.81 ± 11.89 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 46 patients (33.58%), as good - in 66 patients (48.18%), as excellent - in 25 patients (18.25%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 76.13 ± 14.71 points, mean MOXFQ score was 50.05 ± 15.78 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 83.28 ± 9.08 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 29 patients (21.17%), as good - in 81 patients (59.12%), as excellent - in 27 patients (19.71%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 87.14 ± 7.85 points, mean MOXFQ score was 37.4 ± 10.36 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 6.97 ± 4.48 degrees, mean HVA was 6 ± 4.53 degrees, mean IMA was 7.03 ± 1.55 degrees, mean DMAA was 5.68 ± 2.73 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 84.74 ± 9.44 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 20 patients (14.6%), as good - in 76 patients (55.47%), as excellent - in 41 patients (29.93%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fifth group was 83.56 ± 11.6 points, mean MOXFQ score was 33.31 ± 12.09 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy was 7.55 ± 4.46 degrees, mean HVA was 6.59 ± 4.51 degrees, mean IMA was 7.6 ± 1.68 degrees, mean DMAA was 5.35 ± 2.69 degrees.

At this time, 10 (7.3%) cases of metatarsalgia and 10 (7.3%) cases of stiffness were registered in the fifth group in the subgroup of additional osteotomy. With this, 20 (14.6%) deformity recurrences were reported.

A comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed some significant differences.

The AOFAS scale score 6 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results

in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups.

The VASFA score 12 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p=0.03$) and the third and fifth group ($p=0.03$), with better results in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.04$), with better results in the fourth group.

The AOFAS scale score 24 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p=0.02$) and the third and fifth group ($p=0.01$), with better results in the fourth and fifth groups, as well as VASFA score between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p=0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups.

Anatomical results of deformity correction measured in HVIP, HVA, IMA and DMAA sizes showed significant HVA differences between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. At the same time, IMA differed between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. The HVA and IMA differences remained significant 24 months postsurgery between the third and fourth group ($p=0.01$, $p<0.01$, respectively) and the third and fifth group ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively).

There were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 6.4, Table 6.5, Table 6.6, Figure 6.3, Figure 6.4).

Table 6.4. AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time in the third, fourth and fifth groups in the subgroup of additional osteotomy. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
AOFAS on the 6th month	70,9±8,13	77,8±9,51	77,81±11,89	0,01
VASFA on the 6th month	70,85±14,37	77,53±12,93	76,13±14,71	0,29
MOXFQ on the 6th month	51,56±13,63	49,88±17,17	50,05±15,78	0,93
AOFAS on the 12th month	79,3±10,7	85±10,11	83,28±9,08	0,31
VASFA on the 12th month	80,17±11,33	89,12±8,69	87,14±7,85	0,02
MOXFQ on the 12th month	40,56±13,53	34±10,83	37,4±10,36	0,16
HVIP on the 12th month	8,5±3,97	8,33±5,96	6,97±4,48	0,24
HVA on the 12th month	9,21±3,02	6,65±3,08	6±4,53	<0,01
IMA on the 12th month	9,01±1,91	6,41±1,31	7,03±1,55	<0,01
DMAA on the 12th month	6,6±1,86	6,54±2,22	5,68±2,73	0,11
AOFAS on the 24th month	77,45±8,58	84,8±7,81	84,74±9,44	0,01
VASFA on the 24th month	75,78±10,97	86,83±6,96	83,56±11,6	<0,01
MOXFQ on the 24th month	36,66±13,89	29,5±10,73	33,31±12,09	0,2
HVIP on the 24th month	9,09±3,99	8,87±5,88	7,55±4,46	0,24
HVA on the 24th month	9,16±2,35	7,11±3,08	6,59±4,51	<0,01
IMA on the 24th month	9,42±2,39	6,89±1,17	7,6±1,68	<0,01
DMAA on the 24th month	6,69±2,94	6,23±2,85	5,35±2,69	0,06
Duration of the operation	34±16,51	28,5±6,09	29,27±7,19	0,74

Table 6.5. AOFAS scale categorical assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the third, fourth and fifth groups in the subgroup of additional osteotomy. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №3 (n=34)		Group №4 (n=34)		Group №5 (n=187)		
Evaluation of AOFAS scales on 6th month							p-value
excellent	0	0%	3	15%	25	18,25%	<0,01
satisfactory	16	80%	7	35%	46	33,58%	
good	4	20%	10	50%	66	48,18%	

Continued table 6.5.

Evaluation of AOFAS scales on 12th month							p-value
excellent	3	15%	8	40%	27	19,71%	0,18
satisfactory	6	30%	5	25%	29	21,17%	
good	11	55%	7	35%	81	59,12%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month							p-value
excellent	2	10%	8	40%	41	29,93%	<0,01
satisfactory	9	45%	1	5%	20	14,6%	
good	9	45%	11	55%	76	55,47%	
Complications at the 24th month							p-value
Metatarsalgia	4	20%	1	5%	10	7,3%	0,38
Stiffness	1	5%	2	10%	10	7,3%	
Recurrence of deformation	4	20%	3	15%	20	14,6%	

Table 6.6. Pairwise comparison of AOFAS scale, VASFA, MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time, AOFAS scale categorical assessments 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported for the third, fourth and fifth groups in the subgroup of additional osteotomy.

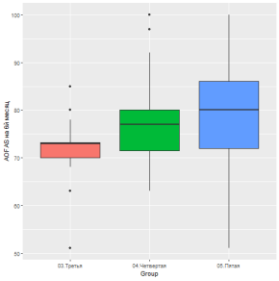
Parameter	3 and 4 groups	3 and 5 groups	4 and 5 groups
AOFAS on 6th month	0,04	0,01	0,57
VASFA on 6th month	0,43	0,43	0,79
MOXFQ on 6th month	1	1	1
AOFAS on 12th month	0,11	0,11	0,56
Parameter	3 and 4 groups	3 and 5 groups	4 and 5 groups
VASFA on 12th month	0,03	0,03	0,26
MOXFQ on 12th month	0,37	0,37	0,37
HVIP on 12th month	0,83	0,33	0,83
HVA on 12th month	0,01	<0,01	0,17
IMA on 12th month	<0,01	<0,01	0,14
DMAA on 12th month	0,6	0,28	0,29
AOFAS on 24th month	0,02	0,01	0,82
VASFA on 24th month	<0,01	0,01	0,31

Continued table 6.6.

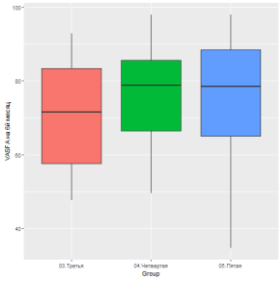
MOXFQ on 24th month	0,34	0,35	0,35
HVIP on 24th month	0,81	0,35	0,81
HVA on 24th month	0,01	<0,01	0,28
IMA on 24th month	<0,01	<0,01	0,08
DMAA on 24th month	0,92	0,15	0,21
Duration of the operation	1	1	1
Evaluation of AOFAS scales on 6th month	0,01	<0,01	0,94
Evaluation of AOFAS scales on 12th month	0,12	0,08	0,28
Evaluation of AOFAS scales on 24th month	0,01	<0,01	0,41
Complications at the 24th month	0,32	0,17	0,86

For greater clarity, the results of the groups comparisons are rearranged in the “box-plot” plots with a line indicating the mean values.

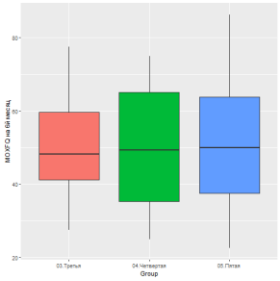
AOFAS on 6th month



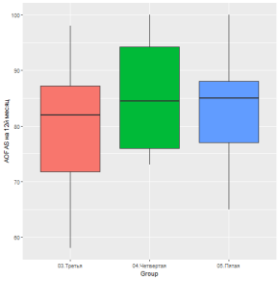
VASFA on 6th month



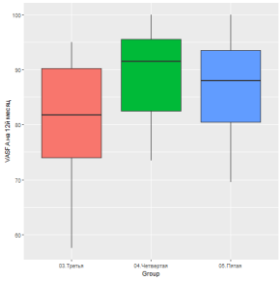
MOXFQ on 6th month



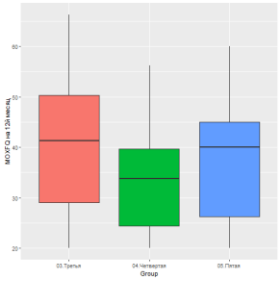
AOFAS on 12th month



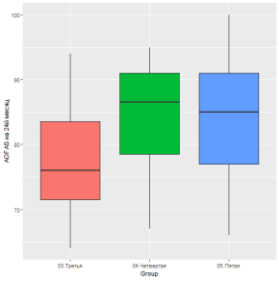
VASFA on 12th month



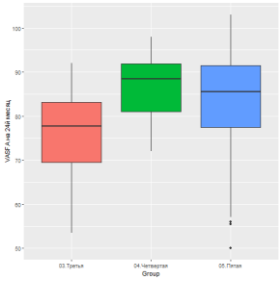
MOXFQ on 12th month



AOFAS on 24th month



VASFA on 24th month



MOXFQ on 24th month

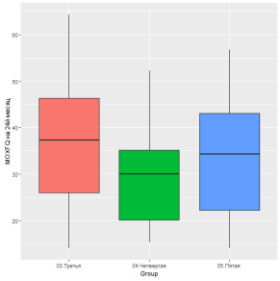


Figure 6.3 Results of questionnaire in 3 (red), 4 (green), 5 (blue) groups in a sample of additional osteotomies.

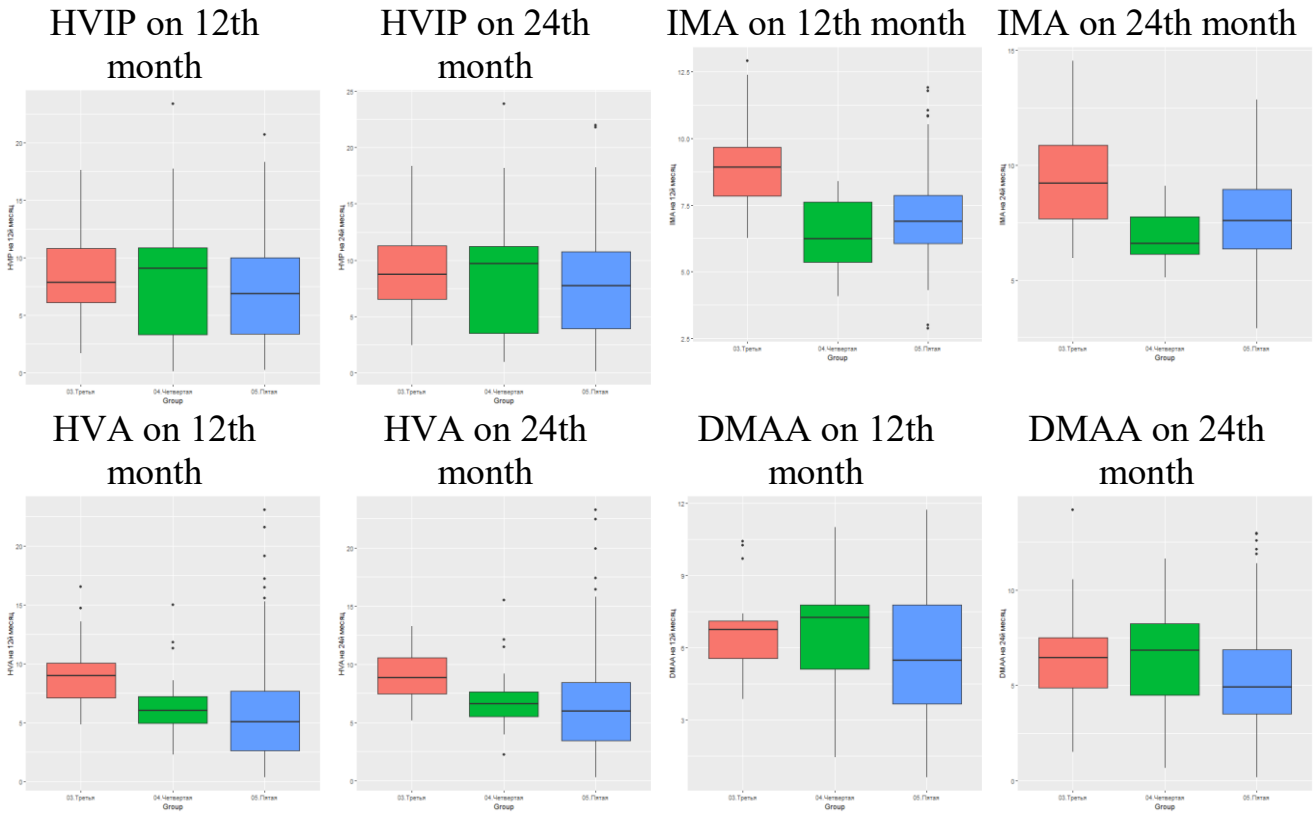


Figure 6.4 Results of the study of radiological parameters of the 3 (red), 4 (green), 5 (blue) groups in the sample of additional osteotomies.

6.3. Results comparison for the third, fourth and fifth groups in the subgroup of no additional osteotomy

The results of the third group are presented in Chapter 4.

The mean operative time in the fourth group was 27.86 ± 6.42 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 77.07 ± 10.2 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 9 patients (64.29%), as good - in 5 patients (35.71%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 76.96 ± 14.23 points, mean MOXFQ score was 50.8 ± 15.5 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 86 ± 8.92 points. With this, the result was

assessed as satisfactory in 1 patient (7.14%), as good - in 9 patients (64.29%), as excellent - in 4 patients (28.57%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 89.68 ± 7.63 points, mean MOXFQ score was 37.14 ± 11.87 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 10.26 ± 4.3 degrees, mean HVA was 5.9 ± 2.98 degrees, mean IMA was 6.56 ± 1.18 degrees, mean DMAA was 5.99 ± 3.25 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 86.79 ± 8.63 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 2 patients (14.29%), as good - in 4 patients (28.57%), as excellent - in 8 patients (57.14%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fourth group was 87.39 ± 6.42 points, mean MOXFQ score was 33.29 ± 11.78 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy was 10.82 ± 4.32 degrees, mean HVA was 6.33 ± 3.01 degrees, mean IMA was 6.7 ± 1.08 degrees, mean DMAA was 6.44 ± 3.59 degrees.

At this time, 12 (85.71%) cases of metatarsalgia were registered in the fourth group in the subgroup of no additional osteotomy, no cases of stiffness were registered. With this, 1 (7.14%) deformity recurrence was reported.

The mean operative time in the fifth group was 31.44 ± 13.11 minutes.

The mean AOFAS scale score 6 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 76.08 ± 13.2 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 20 patients (40%), as good - in 23 patients (46%), as excellent - in 7 patients (14%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 76.75 ± 14.17 points, mean MOXFQ score was 49.4 ± 16.05 points.

The mean AOFAS scale score 12 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 82.62 ± 8.2 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 11 patients (22%), as good - in 31 patients (62%), as excellent - in 8 patients (16%). The mean VASFA score 12 months postsurgery in patients of the

fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 85.52 ± 8.05 points, mean MOXFQ score was 36.27 ± 8.88 points.

At the same time, the mean HVIP angle in the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 7.45 ± 3.77 degrees, mean HVA was 5.37 ± 4.29 degrees, mean IMA was 6.83 ± 1.72 degrees, mean DMAA was 5.12 ± 2.69 degrees.

The mean AOFAS scale score 24 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 82.54 ± 9.9 points. With this, the result was assessed as satisfactory in 10 patients (20%), as good - in 27 patients (54%), as excellent - in 13 patients (26%). At the same time, the mean VASFA score in patients of the fifth group was 83.94 ± 9.28 points, mean MOXFQ score was 33.94 ± 12.34 points.

The mean HVIP angle 24 months postsurgery in the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy was 8.08 ± 3.69 degrees, mean HVA was 5.95 ± 4.28 degrees, mean IMA was 7.58 ± 1.65 degrees, mean DMAA was 4.86 ± 2.66 degrees.

At this time, 5 (10%) cases of metatarsalgia and 7 (14%) cases of stiffness were registered in the fifth group in the subgroup of no additional osteotomy. With this, 6 (12%) deformity recurrences were reported.

A comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed some significant differences.

The AOFAS scale score 6 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p=0.04$), with better results in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p=0.01$), with better results in the fourth and fifth groups.

The AOFAS scale score 12 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p=0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.03$), with better results in the fourth group.

The AOFAS scale score 24 months postsurgery differed significantly between the third and fourth group ($p=0.01$), with better results in the fourth group, as well as VASFA

score between the third and fourth group (p=0.02) with better results in the fourth group. A statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group (p<0.01), with better results in the fourth group.

Anatomical results of deformity correction measured in HVIP, HVA, IMA and DMAA sizes showed significant HVA differences between the third and fourth group (p=0.01) and the third and fifth group (p<0.01), with better results in the fourth and fifth groups. At the same time, IMA differed between the third and fourth group (p<0.01) and the third and fifth group (p<0.01), with better results in the fourth and fifth groups. The HVA and IMA differences remained significant 24 months postsurgery between the third and fourth group (p<0.01, p<0.01, respectively) and the third and fifth group (p<0.01, p<0.01, respectively).

There were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 6.7, Table 6.8, Table 6.9, Figure 6.5, Figure 6.6).

Table 6.7. AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time in the third, fourth and fifth groups in the subgroup of no additional osteotomy. Record format: $\overline{x} \pm \sigma_x$

Parameter	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
AOFAS on 6th month	69,36±5,56	77,07±10,2	76,08±13,2	0,04
VASFA on 6th month	69,39±13,45	76,96±14,23	76,75±14,17	0,14
MOXFQ on 6th month	57,05±13,37	50,8±15,5	49,4±16,05	0,19
AOFAS on 12th month	74,21±10,02	86±8,92	82,62±8,2	<0,01
VASFA on 12th month	83,29±6,15	89,68±7,63	85,52±8,05	0,08
MOXFQ on 12th month	37,41±11,92	37,14±11,87	36,27±8,88	0,88
HVIP on 12th month	7,88±4,41	10,26±4,3	7,45±3,77	0,1
HVA on 12th month	8,67±1,84	5,9±2,98	5,37±4,29	<0,01
IMA on 12th month	9,22±1,95	6,56±1,18	6,83±1,72	<0,01
DMAA on 12th month	7,54±1,73	5,99±3,25	5,12±2,69	0,01

Continued table 6.7.

Parameter	Group №3 (n=34)	Group №4 (n=34)	Group №5 (n=187)	p-value
AOFAS on 24th month	76,21±9,18	86,79±8,63	82,54±9,9	0,02
VASFA on 24th month	80,11±5,73	87,39±6,42	83,94±9,28	0,04
MOXFQ on 24th month	33,12±11,98	33,29±11,78	33,94±12,34	0,98
HVIP on 24th month	8,41±4,46	10,82±4,32	8,08±3,69	0,11
HVA on 24th month	9,86±2,23	6,33±3,01	5,95±4,28	<0,01
IMA on 24th month	10,72±2,38	6,7±1,08	7,58±1,65	<0,01
DMAA on 24th month	5,7±2,46	6,44±3,59	4,86±2,66	0,14
Duration of the operation	33,57±7,19	27,86±6,42	31,44±13,11	0,07

Table 6.8. AOFAS scale categorical assessment results 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the third, fourth and fifth groups in the subgroup of no additional osteotomy. Record format: absolute value (quantity), relative value (% of the group)

Parameter	Group №3 (n=34)		Group №4 (n=34)		Group №5 (n=187)		p-value
Evaluation of AOFAS scales on 6th month							
excellent	0	0%	0	0%	7	14%	0,01
satisfactory	12	85,71%	5	35,71%	20	40%	
good	2	14,29%	9	64,29%	23	46%	
Evaluation of AOFAS scales on 12th month							p-value
excellent	1	7,14%	4	28,57%	8	16%	0,08
satisfactory	7	50%	1	7,14%	11	22%	
good	6	42,86%	9	64,29%	31	62%	
Evaluation of AOFAS scales on 24th month							p-value
excellent	0	0%	8	57,14%	13	26%	0,02
satisfactory	5	35,71%	2	14,29%	10	20%	
good	9	64,29%	4	28,57%	27	54%	
Complications at the 24th month							p-value
Metatarsalgia	3	21,43%	12	85,71%	5	10%	0,44
Stiffness	1	7,14%	0	0%	7	14%	
Recurrence of deformation	3	21,43%	1	7,14%	6	12%	

Table 6.9. Pairwise comparison of AOFAS scale, VASFA, MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, operative time, AOFAS scale categorical assessments 6, 12 and 24 months postsurgery, and complications reported for the third, fourth and fifth groups in the subgroup of no additional osteotomy.

Parameter	3 and 4 groups	3 and 5 groups	4 and 5 groups
AOFAS on 6th month	<0,01	0,04	0,9
VASFA on 6th month	0,26	0,16	0,93
MOXFQ on 6th month	0,5	0,2	0,85
AOFAS on 12th month	0,01	0,01	0,11
VASFA on 12th month	0,1	0,38	0,16
MOXFQ on 12th month	1	1	1
HVIP on 12th month	0,36	0,48	0,12
HVA on 12th month	0,01	<0,01	0,25
IMA on 12th month	<0,01	<0,01	0,71
DMAA on 12th month	0,14	0,11	0,38
AOFAS on 24th month	0,01	0,16	0,16
VASFA on 24th month	0,02	0,18	0,18
MOXFQ on 24th month	1	1	1
HVIP on 24th month	0,39	0,47	0,13
HVA on 24th month	<0,01	<0,01	0,39
IMA on 24th month	<0,01	<0,01	0,16
DMAA on 24th month	0,98	0,35	0,35
Duration of the operation	0,09	0,19	0,23
Evaluation of AOFAS scales on 6th month	0,01	0,01	0,25
Evaluation of AOFAS scales on 12th month	0,03	0,11	0,33
Evaluation of AOFAS scales on 24th month	<0,01	0,08	0,09
Complications at the 24th month	0,17	0,45	0,46

For greater clarity, the results of the groups comparisons are rearranged in the “box-plot” plot with a line indicating the mean values.

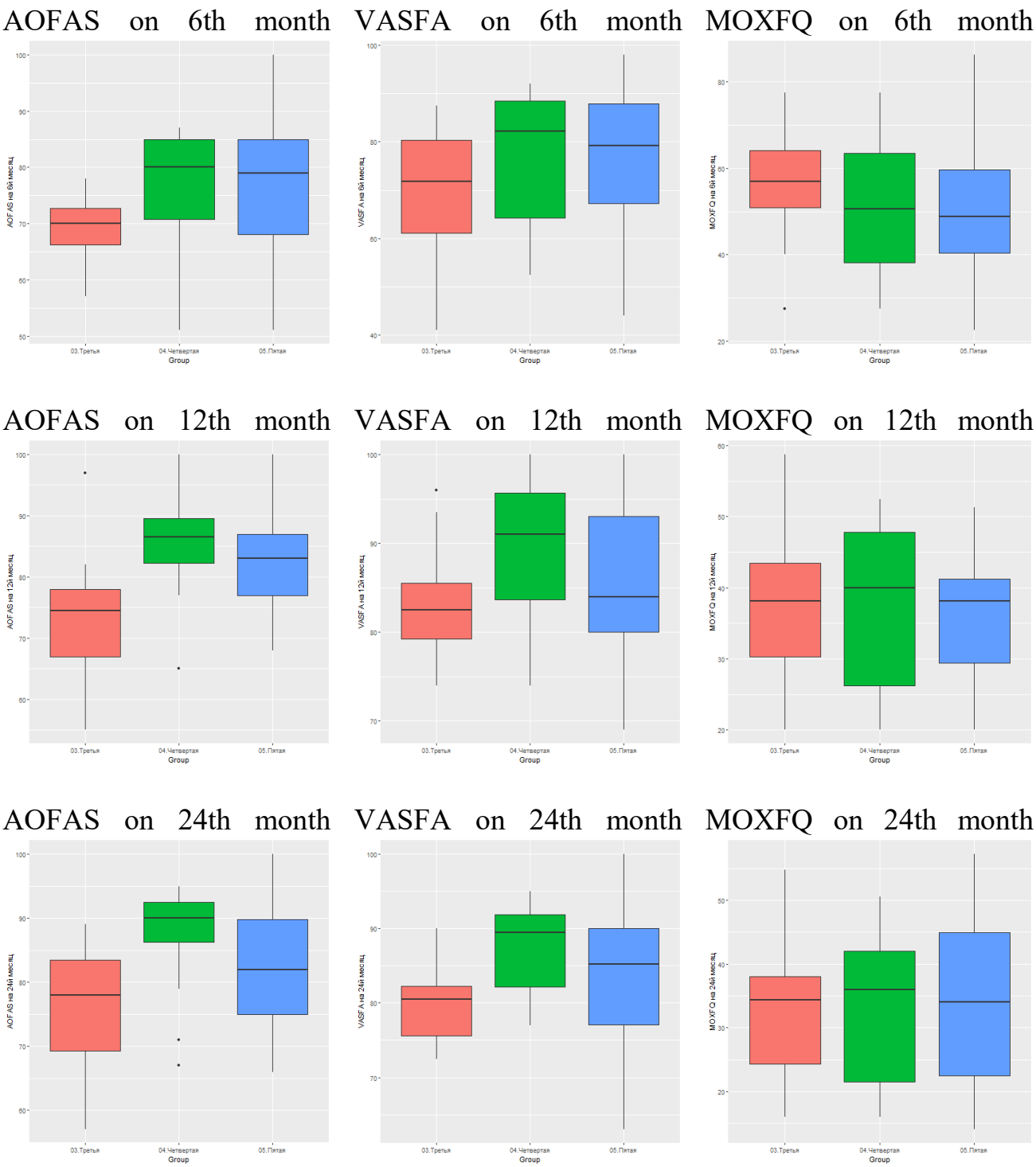
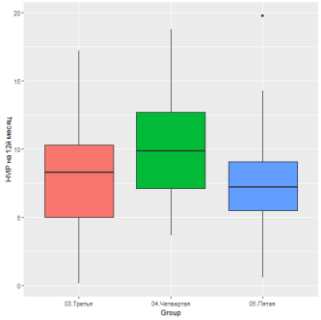
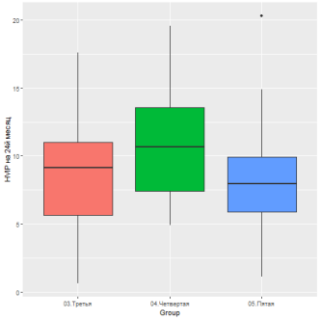


Figure 6.5 Results of the questionnaire of 3 (red), 4 (green), 5 (blue) groups in the sample without additional osteotomies.

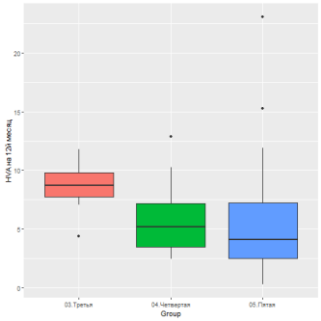
HVIP on 12th month



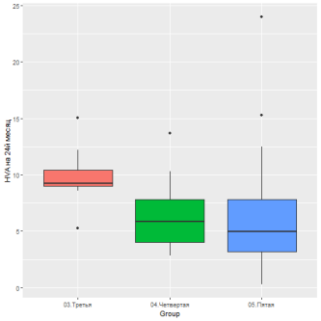
HVIP on 24th month



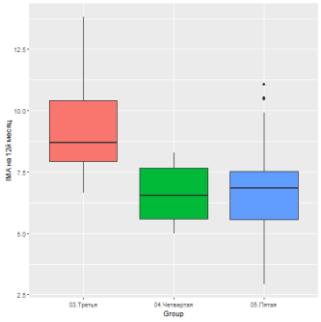
HVA on 12th month



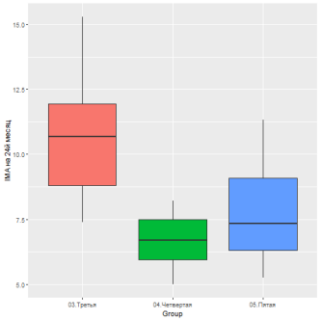
HVA on 24th month



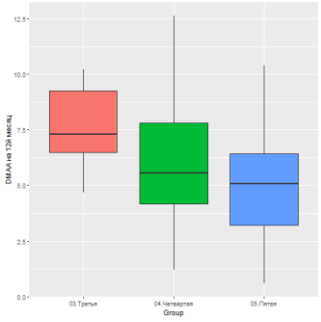
IMA on 12th month



IMA on 24th month



DMAA on 12th month



DMAA on 24th month

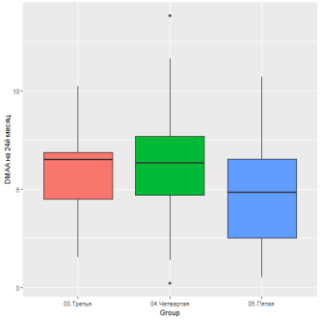


Figure 6.6 Results of radiological indicators of 3 (red), 4 (green), 5 (blue) groups in the sample without additional osteotomies.

6.4. Subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy results comparison within each group

This section presents comparative results between subgroups of additional osteotomies and of no additional osteotomies within each group.

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed no significant differences between the subgroup within each group depending on whether an additional osteotomy was performed. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size also had no significant differences when comparing the subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence. No within group difference between subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed indicates that additional osteotomy has no effect on the overall surgery result (Table 6.10).

Table 6.10. Within group difference between subgroups depending on whether an additional osteotomy was performed for AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ scores 6, 12 and 24 months postsurgery, HVIPA, HVA, IMA, and DMAA radiography results 12 and 24 months postsurgery, and complications reported in the third, fourth and fifth group.

Parameter	3 group (p-value)	4 group (p-value)	5 group (p-value)
AOFAS on 6th month	0,21	0,5	0,63
VASFA on 6th month	0,83	0,97	0,79
MOXFQ on 6th month	0,15	0,82	0,69
AOFAS on 12th month	0,1	0,67	0,48
VASFA on 12th month	0,52	0,96	0,26
MOXFQ on 12th month	0,61	0,33	0,39
HVIP on 12th month	0,74	0,23	0,41
HVA on 12th month	1	0,41	0,38

Continued table 6.10.

IMA on 12th month	0,99	0,7	0,38
DMAA on 12th month	0,19	0,42	0,32
AOFAS on 24th month	0,89	0,36	0,16
VASFA on 24th month	0,33	0,75	0,8
MOXFQ on 24th month	0,49	0,32	0,84
HVIP on 24th month	0,74	0,2	0,41
HVA on 24th month	0,43	0,38	0,38
IMA on 24th month	0,13	0,78	0,82
DMAA on 24th month	0,54	0,88	0,34
Evaluation of AOFAS scales on 6th month	0,67	0,3	0,65
Evaluation of AOFAS scales on 12th month	0,46	0,19	0,85
Evaluation of AOFAS scales on 24th month	0,34	0,27	0,65
Complications at the 24th month	0,96	0,66	0,28

To demonstrate the three-dimensional planning method application with a customized guiding template production by a surgeon mastering the technique, clinical case No. 4 of a patient from the 4th group is presented below. (Figure 6.7).

Clinical case No. 4. Patient P., female, 38 years old. The patient's BMI was 24.63 kg/m^2, which was interpreted as normal body weight. The deformity degree was considered moderate. HVIPA before surgery - 8.68 degrees, HVA - 28.51 degrees, IMA - 16.43 degrees, DMAA - 13.64 degrees. AOFAS scale score before surgery - 57 points, VASFA score – 28 points, MOXFQ score - 54.25 points. The AOFAS assessment of foot function satisfaction was “satisfactory”.

The scarf osteotomy was performed according to the proposed method using a customized guiding template. The operative time was 40 minutes. Since the HVIPA exceeded 9 degrees, an additional Akin osteotomy was performed. No complications were registered.

HVIPA 12 months postsurgery - 7.22 degrees, HVA - 6.88 degrees, IMA - 8.73 degrees, DMAA - 5.9 degrees. HVIPA 24 months postsurgery - 7.52 degrees, HVA - 7.23 degrees, IMA - 9.1 degrees, DMAA - 6.0 degrees.

AOFAS scale score 6 months postsurgery - 88 points, VASFA score – 68 points, MOXFQ score - 22.5 points. AOFAS 12 months postsurgery - 90 points, VASFA score – 68 points, MOXFQ score - 20 points. AOFAS 24 months postsurgery - 92 points, VASFA score – 77.5 points, MOXFQ score - 12.45 points. The AOFAS assessment of satisfaction with the foot function was “excellent”.

A B C D

Figure 6.7. Clinical case No. 4: Rhadiography in the dorsal projection A - before surgery, D - 24 months after surgery. B – Virtual osteotomy planning. C – The use of customized guiding template during the operation.

6.5. Results comparison for the first and fifth groups

To objectify the results of the surgeon's training, the results obtained in a group of the operation performed by an experienced surgeon without a three-dimensional planning and the results of a surgeon mastering the technique after training using guiding templates, that is, the first group and fifth group, were compared.

A comparative analysis of the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ functional results at all follow-up timepoints showed no significant differences between the subgroup within each group depending on whether an additional osteotomy was

performed. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA size also had no significant differences when comparing the groups. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence (Table 6.11).

Table 6.11. Comparative analysis of the first and fifth group results, as well as the subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy the first and fifth group results.

Parameter	Groups 1 and 5	Groups 1 and 5 Subgroups Additional osteotomies	Groups 1 and 5 Subgroups Without additional osteotomies
AOFAS on 6th month	1	1	1
VASFA on 6th month	1	1	0,34
MOXFQ on 6th month	1	1	0,88
AOFAS on 12th month	1	1	0,84
VASFA on 12th month	0,2	1	0,1
MOXFQ on 12th month	1	1	1
HVIP on 12th month	1	1	1
HVA on 12th month	0,4	1	0,3
IMA on 12th month	1	1	1
DMAA on 12th month	0,08	1	0,14
AOFAS on 24th month	1	1	1
VASFA on 24th month	1	1	0,76
MOXFQ on 24th month	1	1	1
HVIP on 24th month	1	1	1
HVA on 24th month	0,64	1	0,31
IMA on 24th month	0,99	1	1
DMAA on 24th month	0,2	0,07	0,08
Evaluation of AOFAS scales on 6th month	0,29	0,71	1
Evaluation of AOFAS scales on 12th month	0,9	0,37	0,27
Evaluation of AOFAS scales on 24th month	0,43	0,6	0,3
Complications at the 24th month	0,19	0,51	0,26
Duration of operation	0,56	0,83	0,66

6.6. Clarification regarding the uneven distribution by gender

There was a gender heterogeneity between the groups in the current dissertation study (p=0.03). The significance of the gender factor impact on the final result was calculated to clarify whether it is legit to use the study results for meaningful conclusions. The HVA and IMA 24 months postsurgery were selected as the main variables of interest. Then a model of linear regression was compiled with factors affecting the final angles values to determine the factors significance. The regression model included gender, age, body mass index, additional osteotomy, and the foot function satisfaction level before surgery as factors. According to the model results, gender was not significant for HVA (p=0.357) and IMA (p=0.2648). Thus, no effect of gender on the final treatment results was proved, and the compared groups could be considered homogeneous.

6.7. Results analysis

The comparative analysis of the third, fourth and fifth study groups treatment results was the final stage of this study clinical part [1]. It was revealed that in patients of the third clinical group, both anatomical and functional treatment results at all follow-up timepoints were significantly worse than in patients of the fourth and fifth groups. This indicates that the baseline level of manual skills and preoperative planning skills was not high enough to perform the operation well and to obtain efficient final anatomical and functional result. The three-dimensional planning method application and the execution of the operation using customized guiding templates allowed to qualitatively improve the results of treatment. In addition, a comparison of the treatment results of patients in the fourth and fifth groups of the study showed no significant differences in all parameters at all follow-up timepoints. This convincingly testifies that the experience of surgery with the three-dimensional planning method with the use of customized guiding templates steadily increases the skill of the surgeon and enables to perform further operations with high quality without using the proposed method. To make this conclusion more

convincing, the first and fifth clinical groups treatment results were compared, that is, in patients who were operated on in the traditional way by an experienced surgeon and a surgeon mastering the technique after training with the three-dimensional planning method and customized guiding templates use. As a result, no significant differences were obtained in any of the parameters characterizing both anatomical and functional results of treatment.

The results presented in this chapter indicate that the next dissertation study objective was achieved. It could be reliably claimed the proposed three-dimensional planning method with the a guiding template production in the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity is applicable in clinical practice and contributes to the scarf osteotomy advancement.

RESUME

The dissertation study was conducted in order to assess the technical feasibility and effectiveness of the three-dimensional planning method with a guiding template production clinical application in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity.

For this purpose, a number of objectives have been consistently achieved. Taking into account the fact that the three-dimensional planning method with the use of a customized guiding template has not previously been used in the treatment of the forefoot deformities, a three-dimensional planning method for the first toe mild and moderate hallux valgus deformity correction was developed based on the feet loading computer tomograms. Based on the existing deformity data and desired correction calculated data, a method for a customized guiding template production has been developed. A number of patents for inventions and utility models have been obtained. Thus, the first objective of this study was achieved, which allowed to proceed with the practical feasibility of the method investigation.

The next step was to compare the first toe acquired mild and moderate valgus deformity correction results, calculated in a virtual environment, with those obtained in a biomechanical experiment on a customized printed foot model. For this purpose, based on computer tomograms of 54 patients with the first toe mild and moderate valgus deformity, virtual planning of the existing deformity correction was performed, as well as printing of a foot model and a customized guiding template for each case. Subsequently, corrective scarf osteotomy using customized guiding templates was performed on plastic models. When comparing the calculated and real results of the deformity correction, there was no statistically significant difference in HVA and IMA between the data calculated in a virtual environment and the data obtained as a result of the experiment on a customized printed foot model ($p=1$, $p=0.34$, respectively). Thus, it was proved that the data calculated in the virtual environment corresponded to the data obtained in biomechanical experiment on a customized printed foot model, which means the second study objective was achieved and allowed to proceed with the assessment of

the three-dimensional planning method with a guiding template production in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity application in real practice.

To do this, 54 patients provided computer tomograms for virtual planning and plastic models surgery, underwent a real scarf osteotomy with a customized guiding template. For data obtained as a result of a real operation for the deformity correction, no significant differences were obtained with the data calculated in a virtual environment and the data obtained after the operation on plastic foot models (HVA p=1, IMA p=0.34). The obtained data on the accuracy of data transfer from the virtual model to real clinical practice testified the third study objective was achieved and determined the possibility of further clinical parts of the study investigating the proposed method application.

It is well known, the quality of any surgical intervention directly depends on the surgeon qualifications. The scarf osteotomy is not an exception, since with the traditional method of planning and performing the operation, the first metatarsal bone sawing direction and the osteotomized fragment displacement the degree are largely determined by the skill of the surgeon. Based on this, the baseline level of an experienced surgeon was first determined, and then the impact of the three-dimensional planning method using a customized guiding template on the experienced surgeon performance was evaluated. For this purpose, two groups of 29 patients were formed. In the first group, an experienced surgeon planned and performed operations according to the traditional method, and in the second group the surgeon used the proposed method of three-dimensional planning with a customized guiding template production. Functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed no significant differences. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA sizes were also not different. Moreover, there were no significant differences in the operative time, the incidence of complications and deformity recurrence. Thus, in general, there were no significant differences in postoperative results of the experienced surgeon.

The data obtained indicated the three-dimensional planning method application with a customized guiding template production does not significantly affect the scarf osteotomy performance quality in an experienced surgeon. This allowed the fourth study

objective achievement and the proposed method impact on the surgeon mastering the technique performance quality further assessment.

Similarly with an experienced surgeon, the baseline level of a surgeon mastering the scarf osteotomy was determined. For this purpose, the third clinical group of 34 patients was formed, for whom the surgeon mastering the technique carried out the planning and the surgery according to the traditional method.

After that, the results were compared in the first group, where operations were performed by an experienced surgeon without the three-dimensional planning or a guiding template production, and the third group, where operations were performed by a surgeon mastering the scarf technique, also in the traditional way without the three-dimensional planning or a guiding template production. The comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed some significant differences: the AOFAS scale score 6 months postsurgery differed between the third and first group ($p=0.01$), with better results in the first group. Sstatistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale 12 months postsurgery between the third and first group ($p<0.01$), with better results in the first group, as well as AOFAS scale score between the third and first group ($p=0.03$), with better results in the first group and VASFA score ($p=0.01$), with better results in the first group. The AOFAS scale score 24 months postsurgery differed between the third and first group ($p=0.02$), with better results in the first group, as well as VASFA score ($p<0.01$), with better results in the first group. Statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and first group ($p<0.01$), with better results in the first group. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA sizes showed significant HVA differences 12 months postsurgery between the third and first group ($p<0.01$), with better results in the first group. The HVA and IMA differences remained significant 24 months postsurgery between the third and first group ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively). There were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence. The data obtained showed that the level of surgical skill of the surgeon mastering the technique is significantly worse than the skills

of an experienced surgeon, which allowed further investigation of the proposed three-dimensional planning method with a customized guiding template production impact on the surgeon mastering the technique performance quality.

To do this, the surgeon mastering the technique performed operations on 34 patients using three-dimensional planning method with a customized guiding template production (group 4), after which the surgeon operated on 187 patients using the traditional method without the three-dimensional planning method or a customized guiding template production (group 5).

Further, a comparative analysis of the third, fourth and fifth groups was carried out, that is, the results of the surgeon mastering the technique before applying the proposed method, those obtained with the use of the method and those of subsequent work with the traditional technique. In the result of the analysis the three-dimensional planning method with a customized guiding template production impact on the surgeon mastering the technique skill improvement was assessed. The comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed some significant differences. The AOFAS scale score 6 months postsurgery differed between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups, as well as VASFA score between the third and fourth group ($p=0.07$) and the third and fifth group ($p=0.06$), with better results in the fourth and fifth groups. Statistically significant difference was also found in categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. The AOFAS scale score 12 months postsurgery differed between the third and fourth group ($p=0.01$) and the third and fifth group ($p=0.01$), with better results in the fourth and fifth groups, as well as VASFA score between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p=0.02$), with better results in the fourth and fifth groups. Statistically significant difference was also found in the categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p=0.04$), with better results in the fourth group. The AOFAS scale score 24 months postsurgery differed between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups, as well as

VASFA score between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. Statistically significant difference was also found in categorical assessment on the AOFAS scale between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. Anatomical results of deformity correction expressed HVIPA, HVA, IMA and DMAA sizes showed significant HVA differences between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. At the same time, IMA differed between the third and fourth group ($p<0.01$) and the third and fifth group ($p<0.01$), with better results in the fourth and fifth groups. The HVA and IMA differences remained significant 24 months postsurgery between the third and fourth group ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively) and the third and fifth group ($p<0.01$, $p<0.01$, respectively). There were no significant differences in the operative time, the incidence of complications or deformity recurrence. The data obtained showed that the three-dimensional planning method application with a customized guiding template production allowed the surgeon mastering the technique to improve the operative quality in a short period of time and consolidate the acquired skills to perform a series of 187 operations with traditional technology with a quality similar to that with a customized guiding template use.

To objectify the achieved level of surgical skill of a surgeon mastering the technique, results were compared in the first group, where operations were performed by an experienced surgeon without the three-dimensional planning method or a guiding template production in the surgical treatment of the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity, and the fifth group, where operations were performed by a surgeon mastering the scarf technique as well in the traditional way, but after using the three-dimensional planning method with a customized guiding template production previously. The comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed no significant differences between the groups. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA sizes also had no significant differences when comparing the first and fifth group. There were also no significant differences in the operative time, the incidence of

complications and deformity recurrence. Thus, it could be concluded that the operative skill level of a surgeon mastering the technique equaled the level of an experienced surgeon after a series of operations performed with the proposed method. Thus, the fifth study objective was achieved.

Taking into account that in all groups of this study there were both the patients with the first metatarsal bone isolated osteotomy and those who, in addition to the first metatarsal bone osteotomy, underwent Akin osteotomy and/or osteotomy of other metatarsal bones, in order to determine the impact of additional osteotomies on the final treatment results, within group analysis was conducted to compare subgroups of additional osteotomy and of no additional osteotomy in the first, second, third, fourth and fifth groups. The comparative analysis of functional results by the AOFAS scale, VASFA, and MOXFQ at all follow-up timepoints showed no significant differences between subgroups. Anatomical results of deformity correction expressed in HVIPA, HVA, IMA and DMAA sizes also had no significant differences in subgroups. Moreover, there were also no significant differences in the operative time, the incidence of complications and deformity recurrence. No within group difference between subgroups indicates the additional osteotomy has no impact on the three-dimensional planning method with a customized guiding template production clinical application efficacy. Thus, the six study objective was achieved.

Thus, it could be stated that all the objectives set in the study were consistently solved, and the study purpose was achieved. At the same time, the problem of additive technologies use in general and for customized guiding templates production for orthopedic surgeries for the forefoot deformities is obviously far from final elaboration. Nevertheless, this study is a step towards determining the place of additive technologies in foot orthopedics and will be useful for further research in this area.

The study limitations should also be mentioned. For a more thorough and scientifically supported conclusion on the three-dimensional planning method with a customized guiding template production impact on the skill improvement of a surgeon mastering the technique, the results of the fifth study group should be actually compared with the results of a surgeon with a similar skill level who performed a similar number of

operations in the traditional way without using the proposed method. Nevertheless, the fact that the surgeon in this study performed only 34 operations using a customized guiding template in a short period of time, which is clearly insufficient for the qualitative growth of surgical skill within traditional operations brings its contribution. In addition, if two surgeons with the same baseline level were compared, it would be impossible to assess the impact of each personal factors on the final result, which would reduce the value of the results obtained. All this assumes the proposed method has a positive effect on skills improvement in a surgeon mastering the technique.

CONCLUSIONS

1. Based on the results of computed tomography of patients with the first toe acquired valgus deformity of mild and moderate severity, virtual and printed foot models could be created, three-dimensional planning could be implemented, and a customized guiding template for scarf osteotomy could be produced.

2. Scarf osteotomy preoperative planning data obtained in a biomechanical experiment in a virtual environment correspond to the real data obtained after surgery using the three-dimensional planning method with a guiding template production on a customized printed foot model, which is evidenced by no HVA and IMA significant differences ($p=1$ and $p=0.34$, respectively).

3. Three-dimensional planning method with a guiding template production could be used in real practice in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity, since the comparison of correction data calculated in a virtual environment and data obtained after performing a scarf osteotomy using a customized guiding template in real practice showed no significant differences in HVA and IMA ($p=1$ and $p=0.34$, respectively).

4. Three-dimensional planning method with a customized guiding template production in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity does not affect the operative quality of an experienced surgeon.

5. Three-dimensional planning method with a guiding template production used in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity by a surgeon mastering the technique allows significant improvement of the anatomical and functional operation results and equaling the surgeon level to the experienced surgeon level.

6. Addition Akin osteotomies and minimally invasive osteotomies of 2,3,4,5 metatarsal bones, performed according to appropriate indications, do not affect three-dimensional planning method with a customized guiding template production clinical application efficacy in the surgical treatment of the forefoot acquired deformities of mild and moderate severity.

PRACTICAL RECOMENDATIONS

1. To improve the spatial understanding of the nature of foot deformity and improve the quality of planning its correction operation, it is advisable to study computed tomography of the feet with a load both in the mode of slices and in the mode of 3d reconstruction.

2. It is advisable to train in order to practice manual skills before the beginning of the practical implementation of corrective osteotomy surgery by a surgeon mastering the technique. At the same time, one of the ways to train manual skills can be the use of three-dimensional planning technology with the creation of individual printed models.

3. When planning and performing the operation of corrective osteotomy scarf, special attention should be paid to the correctness of the spatial choice of the osteotomy plane.

4. In the routine practice of an experienced surgeon, the whole complex of virtual preoperative planning with the use of individual navigation guide templates is impractical.

5. In the preoperative planning protocol, if there are indications, additional metatarsal osteotomies, osteotomy akin, can be included, since they do not affect the results of the clinical application of the three-dimensional preoperative planning method using an individual guide template.

ABBREVIATIONS

AOFAS - American Orthopaedic Foot Ankle Society

CAD – computer-aided design

DMAA - distal metatarsal articular angle

EFAS - European Foot And Ankle Society

FADI - foot and ankle disability index

FHSQ - foot health status questionnaire

HV - hallux valgus

HVA - hallux valgus angle

HVIPA - hallux valgus interphalangeal angle

IMA - intermetatarsal angle

MOXFQ – Manchester-Oxford Foot Questionnaire

MSCT – multispiral computed tomography

SF-36 - the short form (36) health survey

SLS - selective laser sintering

STL –stereolithography

APPENDICIES

American Orthopedic Foot and Ankle Society Score

1. Do you have any pain? No (40 points) Moderate, rare (30 points) Strong, daily (20 points) Very strong, constantly present (0 points)
2. Activity restriction No daily activity restriction (10 points) There are no restrictions on daily activity, only with excessive load (7 points) Daily restrictions, the impossibility of excessive load. (4 points) Restrictions excluding any activity (0 points**)**
3. Your shoe requirement Fashionable, comfortable, does not require insoles (15 points) Comfortable with orthopedic insoles (5 points) Only specially selected or brace (0 points)
4. The volume of movements in the first metatarsophalangeal joint Full or small restriction (15 points) Moderate restriction (5 points) Significant restriction (0 points)

5. The volume of movements in the interphalangeal joint No restrictions (5 points) Significant restrictions (0 points)
6. Stability in the metatarsophalangeal and interphalangeal joints (all directions) Stable (5 points) Unstable, or easily displaced (0 points)
7. **Hyperkeratosis (calluses, skin compaction) in the area of the joints of the first ray** not exist or asymptomatic (5 points) exist, painful (0 points)
The axis of the first ray (whether or not there is a deviation of 1st toe towards the rest during external inspection)
8. Degree of axis recovery Restored (15 points) Cosmetically acceptable, but a small asymptomatic Hallux valgus (8 points) Not restored, obvious Recurrence of deformation (0 points)

Visual Analogue Scale Foot and Ankle score

Severe lameness	**1. How much do foot problems interfere with walking?**	No changes, normal gait
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	
Constantly, always	2. **How often do you experience pain at rest?**	Never, very rarely
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	
Excessive pain	3. **What is the intensity of pain at rest?**	No pain
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	
Constantly, always	4. **How often do you experience pain during physical activity?**	Never, very rarely
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	
Excessive pain	5. **What is the intensity of pain during physical activity?**	No pain
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	
Weakness severely limits	6. **Is there a feeling that one leg is weaker than the other?**	Strength as in a healthy leg
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	
Common painful corn	7. **Do you have calluses on your foot/feet?**	No calluses
	- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-	

The joint does not flex	8. **Are there any restrictions on movements in the ankle joint/joints?**	No motion restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Climbing the stairs is impossible	9. **Are there any restrictions when climbing the stairs?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Powerful influence	10. **Do foot problems affect your activity much?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Driving is impossible	11. **Are there any difficulties when driving a car (pedals)?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Not for long with a cane	12. **How long can you stand without problems in the foot?**	More than an hour, without restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
It is impossible to stand	13. **Are there any problems when standing on one leg?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Impossible/long with a cane	14. **How long can you walk without problems in the foot?**	More than an hour, without restrictions

- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Sports are impossible	15. **Do foot problems stop you from doing sports?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Need outside help	**16. How limited is daily activity?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Travel is impossible	**17. Do foot problems stop you from traveling?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Orthopedic shoes	**18. Are there any problems with choosing shoes?**	Any type of shoes
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Walking is impossible	**19. Are there any restrictions when walking on an uneven surface?**	No restrictions
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		
Sensitivity is absent	**20. Is there a decrease in sensitivity in the foot/feet?**	Normal sensitivity
- 1- -2- -3- -4- -5- -6- -7- -8- -9- -10-		

The Manchester-Oxford Foot Questionnaire

Points	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
Questions					
1. Foot/ankle pain	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
2. I avoid walking a long distance, because there is pain	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
3. I choose the road, because there is pain in the foot	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
4. I walk slowly, because of the pain that occurs	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
5. I stop and rest because of foot pain	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
6. I avoid walking on a hard and uneven surface	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
7. I try not to stand for a long time because of the pain in my foot	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
8. I use public transport or a car instead of walking because of pain	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
9. I feel awkward in the ankle / foot	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
10. I feel uncomfortable when wearing shoes	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always

11. Foot/ankle pain is more bothering in the evening	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
12. I have shooting pain in my foot/ankle	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
13. Pain prevents me from doing my work or daily activities	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
14. Unable to perform community service or entertainment due to pain	Not at all	Rarely	Sometimes	Often	Always
15. How do you describe the pain that has been bothering you for the last 4 weeks in the foot/ankle joint?	No	Low	Mild	Moderate	Heavy
16. Have you been bothered during the last 4 weeks by pain in the foot/ankle joint lying in bed at night?	No	1 or 2 nights	A few nights	Most nights	All nights

REFERENCES

In Russian:

1. Akulaev, A. A. Practical application of navigation patterns in teaching a surgeon the technique of corrective osteotomy scarf / A.A. Akulaev, A. A. Povaliy // Modern problems of science and education. – 2021. – № 2 (44) – P. 155.

2. Akulaev, A. A. The experience of using three-dimensional preoperative planning and resection guide templates for scarf osteotomy with mild and moderate deformities of hallux valgus / A.A. Akulaev, A. A. Povaliy // Department of Traumatology and Orthopedics. – 2021. – № 44 (2). – P. 41–48.

3. Akulaev, A. A. Innovative individual approach in simulation training of foot surgery / A. A. Kalaev, A.V. Filippova, K. A. Tishchenkov // Virtual technologies in medicine. – 2018. – P. 50–51.

4. Akulaev, A. A. Technologies of three-dimensional planning and printing in traumatology and orthopedics / A. A. Kalaev, A.A. Povaliy, I.G. Belenky // Journal of emergency surgery named after I.I. Dzhanelidze. – 2022. –№ 2. – P. 54–61.

5. Bezgodkov, Yu. A. Surgical treatment of static deformities of the feet / Yu.A. Bezgodkov, D. Al, A.G. Aslanova [et al.] //Modern problems of science and education. - 2014. – No. 3. – pp. 528-528.

6. Akulaev, A. A. When additional Akin osteotomy is required when performing scarf osteotomy with mild and moderate deformities of hallux valgus? / A.A. Kulaev, I.G. Belenky, K.A. Tishchenkov [et al.] // Medical Alliance. – 2022. – No. 4. – P. 55-62.

7. Belenky, I. G. Modern views on surgical treatment of hallux valgus / I.G. Belenky, G.D. Sergeev, A.V. Oleinik [et al.] // Modern problems of science and education. – 2021. – №6 –2021. – p. 7–7.

8. Bobrov, D. Surgical treatment of hammer-like deformity of the toes (literature review) / D.S. Bobrov, A.A. Shubkina, A.V. Lychagin [et al.]. // Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. – 2019. – № 4 (74). – P. 272-282.

9. Cardanov, A. Individual nonsurgical correction of static deformities of the feet using new technologies / A.A. Cardanov, V.G. Protsko, M. P. Lukin [et al.] // Palliative medicine and rehabilitation. – 2008. – № 1. – P. 39–42.

10. Cardanov, A. On the connection of systemic hypermobility of joints and valgus deviation of the first finger / A.A. Cardanov, A.S. Karandin, A.V. Korolev [et al.] [et al.]. // Traumatology and orthopedics of Russia. – 2015. – № 77 (3). – P. 5–11.

11. Cardanov, A. Surgical correction of the combined flat-valgus installation of the foot and the valgus deviation of the first toe / A.A. Cardanov, A.V. Korolev, A.S. Karandin [et al.] // News of higher educational institutions. Volga region. Medical sciences. – 2015. – № 36 (4). – P. 40–47.

12. Cardanov, A. A. Surgical treatment of deformities of the first ray of the foot: history and modern aspects / A. A. Cardanov, L. G. Makinyan, M. P. Lukin // Medpraktika-M. - 2008. p.103

13. Kireev, V. S. Study of mobility of the first metatarsal bone during surgical correction of deformities of the forefoot using scarf / V. S. Kireev, V.G. Protsko, A.G. Kurmanov// Bulletin of the medical Institute "Reaviz". – 2019. – № 3 (19). – P. 126–130

14. Kondrashova, I. A. Clinical and radiological aspects of diagnostics of hallux valgus and transverse flatfoot / I.A. Kondrashova, N.A. Davletova, A.N. Kondrashov // Trauma. – 2013. – № 4 (14). – P. 81–86.

15. Mo, Ts. Questionnaires and scales for assessing the condition of the foot and ankle joint / Ts. Mo, N. V. Rigin, D. S. Bobrov [et al.] // Department of Traumatology and Orthopedics. – 2016. – № 20 (4). – P. 5–11.

16. Prozorovsky, D. V. SCARF osteotomy in the treatment of hallux valgus / D. V. Prozorovsky, K. K. Romanenko, D. V. Ershov // Trauma. – 2013. – № 2 (14). – P. 132–136.

17. Protsko, V. G. The choice of the optimal method of treatment of valgus deformity of the first toe: dis. ... Candidate of Medical Sciences: 14.00.22 / Protsko Viktor Gennadievich; scientific director N.V. Zagorodny; RUDN. – Moscow, 2004

18. Roshal, S. M. Radiometric prerequisites for the development of transverse flat feet / S. M. Roshal, I. A. Obukhov, A. S. Ermishina // Innovative medicine of Kuban. – 2020. – № 2 (18). – P. 35–40.

19. Sorokin, E. P. Clinical and biomechanical evaluation of the effectiveness of various methods of surgical treatment of valgus deviation of the first toe: dis. ... Candidate of Medical Sciences: 14.01.15 / Sorokin Evgeny Petrovich; scientific director R.M. Tikhilov; RNIITO named after R.R. Vreden. – St. Petersburg, 2013

20. Sorokin, E. P. Clinical and economic efficiency of the use of medical devices (orthopedic insoles) in the conservative treatment of patients with hallux valgus / E.P. Sorokin, A.Y. Kochish, V. A. Fomichev [et al.]// Modern problems of science and education. – 2019. – № 2. – P. 116–116.

21. Ternovoy, S. K. Methods of functional multispiral computed tomography in the diagnosis of adult flat feet / S.K. Ternovoy, N.S. Serova, A.S. Belyaev [et al.] // Russian Electronic Journal of Radiation Diagnostics. – 2017. – № 1 (7). – P. 94 –100.

22. Fedotov Yu.N. Pat. 2 708 880 Russian Federation, IPC A61B 17/56. Method of surgical treatment of patients with deformity of the forefoot. Yu.N. Fedotov; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University"/ Yu.N. Fedotov, A.A. Akulaev, A.V. Filippova, K.O. Turbin, K.I. Zakharov, S.A. Markin, K.A. Tishchenkov, O.A. Kozlov, V.V. Egorova // – No. 2018140531; application 16.11.18; publ. 11.12.19, Bul. No. 35.

23. Fedotov Yu.N. Pat. 190569 Russian Federation, IPC A61B 17/15. Individual resection unit for performing osteotomy of medial exostosis of the head of the first metatarsal; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University"/ Yu.N. Fedotov, A.A. Akulaev, A.V. Filippova, K.O. Turbin, K.I. Zakharov, S.A. Markin, K.A. Tishchenkov, O.A. Kozlov, V.V. Egorova // – No. 2018140534; application 16.11.18; publ. 03.07.19, Bul.№ 19.

24. Fedotov Yu.N. Patent 190765 Russian Federation, IPC A61B 17/56. Individual template for moving osteotomized bone fragments to a given position; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher

Education "St. Petersburg State University"/ Yu.N. Fedotov, A.A. Akulaev, A.V. Filippova, K.O. Turbin, K.I. Zakharov, S.A. Markin, K.A. Tishchenkov, O.A. Kozlov, V.V. Egorova // – No. 2018140535; statement 16.11.18; published 11.07.19, Bulletin No. 20.

25. Fedotov Yu.N. Patent. 191193 Russian Federation, IPC A61B 17/15. Resection unit for performing l-shaped osteotomy of the first metatarsal; applicant and patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University"/ Yu.N. Fedotov, A.A. Akulaev, K.O. Turbin, K.I. Zakharov, S.A. Markin, K.A. Tishchenkov, O.A. Kozlov, V.V. Egorova // – No. 2018140533; statement 16.11.18; published 29.07.19, Bulletin. № 22.

26. Khominets, V. Algorithm of surgical treatment and postoperative rehabilitation of patients with transverse flat feet / V.V. Khominets, O. V. Rikun, S.V. Gamolin [et al.]// Department of Traumatology and Orthopedics. – 2016. – № 4. – P. 20.

27. Shubkina, A. Minimally invasive technique against open surgery with hammer-like deformity of the second finger: comparison of results / A.A. Shubkina, A.V. Lychagin, D. S. Bobrov [et al.] // Genius of Orthopedics. – 2022. – № 4 (28). – P. 507–515.

In English:

28. Adam, S. P. Outcomes after Scarf Osteotomy for Treatment of Adult Hallux Valgus Deformity / S. P. Adam, S. P., S. C. Choung, Y. Gu [et al.]. // Clinical Orthopaedics and Related Research – 2010. – № 3 (469). – C. 854–859.

29. Aminian, A. Scarf osteotomy for hallux valgus deformity: an intermediate followup of clinical and radiographic outcomes / A. Aminian, A. Kelikian, T. Moen // Foot & ankle international. – 2006. – № 11 (27). – P. 883–886.

30. Armiger, R. S. Three-dimensional mechanical evaluation of joint contact pressure in 12 periacetabular osteotomy patients with 10-year follow-up / Armiger R. S. Armiger, M. Armand, K. Tallroth [et al.]// Acta Orthopaedica. – 2009. – № 2 (80). – P. 155–161.

31. Austin, D. W. A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed «V» displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus.

/D. W. Austin, E. O. Leventen // Clinical orthopaedics and related research. – 1981. – № 157. – P. 25–30.

32. Baauw, M. The accuracy of positioning of a custom-made implant within a large acetabular defect at revision arthroplasty of the hip /, M. Baauw, Van G. G. Hellemondt, M. L. Van Hooff, [et al.]// The Bone & Joint Journal. – 2015. – № 6 (97-B). – P. 780–785.

33. Barg, A. Unfavorable Outcomes Following Surgical Treatment of Hallux Valgus Deformity /A. Barg, J. R. Harmer, A. P. Presson [et al.]// Journal of Bone and Joint Surgery. – 2018. – № 18 (100). – P. 1563–1573.

34. Barouk, L.S. Osteotomie Scarf du premier metatarsien /L. Barouk // Med Chir Pied. Barouk L.S. Osteotomie Scarf du premier metatarsien 1994. – P. 111–120.

35. Barouk, L.S. Scarf osteotomy of the first metatarsal in the treatment of hallux vulgus / L.S. Barouk // Foot diseases. – 1995. – № 1 (2). – P. 35–48.

36. Barouk, L. S. Scarf osteotomy for hallux valgus correction. Local anatomy, surgical technique, and combination with other forefoot procedures. / L.S. Barouk // Foot and ankle clinics. – 2000. – № 3 (5). – P. 525–58.

37. Bartolozzi, P. L'osteotomia distale percutanea nella chirurgia dell'alluce valgo /P. Bartolozzi // Timeo. – 2000. P. 80

38. Belloti, J. C. The malunion of distal radius fracture: Corrective osteotomy through planning with prototyping in 3D printing /J. C. Belloti, B. V. P. Alves, F. Faloppa [et al.]// Injury. 2021. (52). P. S44–S48.

39. Betts, R. Foot pressure studies in Freiberg's disease /R. Betts, D. Stanley, T. Smith // The Foot. – 1991. – № 1 (1). – P. 21–27.

40. Bia, A. Percutaneous Osteotomies in Hallux Valgus: A Systematic Review / A. Bia, F. Guerra-Pinto, B. S. Pereira [et al.] // The Journal of Foot and Ankle Surgery. 2018. № 1 (57). P. 123–130.

41. Blum, J. L. The Modified Mitchell Osteotomy-Bunionectomy: Indications and Technical Considerations /J. L. Blum // Foot & Ankle International. – 1994. – № 3 (15). – P. 103–106.

42. Bock, P. The Scarf Osteotomy: A Salvage Procedure for Recurrent Hallux Valgus in Selected Cases / P. Bock, U. Lanz, A. Kröner [et al.]// Clinical Orthopaedics and Related Research – 2010. – № 8 (468). – P. 2177–2187.

43. Bock, P. The Scarf Osteotomy with Minimally Invasive Lateral Release for Treatment of Hallux Valgus Deformity: Intermediate and Long-Term Results / P. Bock, R. Kluge, K. H. Kristen [et al.]// The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2015. – № 15 (97). – P. 1238–1245.

44. Boksh, K. A Comparative Study of Mini-Scarf Versus Standard Scarf Osteotomy for Hallux Valgus Correction /K. Boksh, S. Qasim, K. Khan [et al.]// The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2018. – № 5 (57). – P. 948–951.

45. Borrelli, A. Modified scarf bunionectomy: our experience in more than 1000 cases / A. Borrelli // J Foot Surg. – 1991. – T 30 – P. 609.

46. Bösch, P. Technik und erste Ergebnisse der subkutanen distalen Metatarsale-I-Osteotomie / P. Bösch, H. Markowski, V. Rannicher // Orthop Praxis. – 1990. – T 26. – P. 51–56.

47. Bösch, P. Hallux valgus correction by the method of Bösch: a new technique with a seven-to-ten-year follow-up. / P. Bösch, S. Wanke, R. Legenstein // Foot and ankle clinics. – 2000. – № 3 (5). – P. 485–98, v–vi.

48. Briggs, T. Mitchell's osteotomy using internal fixation and early mobilization / T. Briggs, P. Smith, T. McAuliffe // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1992. – № 1 (74-B). – P. 137–139.

49. Brown, G. A. Application of Computer-Generated Stereolithography and Interpositioning Template in Acetabular Fractures: A Report of Eight Cases / G. A. Brown, B. Milner, K. Firoozbakhsh // Journal of Orthopaedic Trauma. – 2002. – № 5 (16). – P. 347–352.

50. Bruns, N. 3D-Druck in der Unfallchirurgie / N. Bruns, C. Krettek// Der Unfallchirurg – 2019. – № 4 (122). – P. 270–277.

51. Buller, L. The Use of Patient-Specific Instrumentation Improves the Accuracy of Acetabular Component Placement / L. Buller, T. Smith, J. Bryan [et al.] // The Journal of Arthroplasty. – 2013. – № 4 (28). – P. 631–636.

52. Burutaran, J. Hallux valgus y cortedad anatomica del primer metatarsano (correction quinrusica) /J. Burutaran // Actual Med Chir Pied. – 1976. – T 13. – P. 261–266.

53. Calvo-Haro, J. A. Conceptual evolution of 3D printing in orthopedic surgery and traumatology: from “do it yourself” to “point of care manufacturing” / J. A. Calvo-Haro, J. Pascau, L. Mediavilla-Santos [et al.] // BMC Musculoskeletal Disorders. – 2021. – № 1 (22). – P. 360.

54. Campbell, B. Pilot Study of a 3-Dimensional Method for Analysis of Pronation of the First Metatarsal of Hallux Valgus Patients / B. Campbell, M. C. Miller, L. Williams [et al.] // Foot & Ankle International. – 2018. – № 12 (39). – P. 1449–1456.

55. Cavaignac, E. Evaluation of the accuracy of patient-specific cutting blocks for total knee arthroplasty: a meta-analysis / E. Cavaignac, R. Pailhe, G. Laumond [et al.] // International Orthopaedics. 2015. – № 8 (39). – P. 1541–1552.

56. Choi, J. H. Prospective study of the treatment of adult primary hallux valgus with scarf osteotomy and soft tissue realignment / J. H. Choi, J. R Zide., S. C. Coleman [et al.] // Foot and Ankle International. – 2013. – № 5 (34). – P. 684–690.

57. Chou, L. B. Biplanar Chevron Osteotomy /L. B. Chou, R. A. Mann, M. M. Casillas // Foot & Ankle International. – 1998. – № 9 (19). – P. 579–584.

58. Coetzee, J. C. Scarf osteotomy for hallux valgus repair: the dark side / J. C. Coetzee// Foot & ankle international. – 2003. – № 1 (24). – P. 29–33.

59. Coetzee, J. C. Surgical strategies: scarf osteotomy for hallux valgus / J. C. Coetzee, P. Rippstein // Foot & ankle international. – 2007. – № 4 (28). – P. 529–535.

60. Collan, L. The biomechanics of the first metatarsal bone in hallux valgus: a preliminary study utilizing a weight bearing extremity CT /L. Collan, J. A. Kankare, K. Mattila // Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons. – 2013. – № 3 (19). – P. 155–161.

61. Conti, M. S. Effect of the Modified Lapidus Procedure on Pronation of the First Ray in Hallux Valgus / M. S. Conti, J. F. Willett, J. H. Garfinkel [et al.] // Foot & Ankle International. – 2020. – № 2 (41). – P. 125–132.

62. Corless, J. R. A modification of the Mitchell procedure /J. R. Corless // J. Bone Joint Surg., B. –1976. – 58. – P. 138.

63. Corrigan, J. P. Effect of Heel Height on Forefoot Loading / J. P. Corrigan, D. P. Moore // Foot & Ankle. – 1993. – № 3 (14). – P. 148–152.

64. Coughlin, M. Proximal first metatarsal osteotomy / M. Coughlin // The foot and ankle. Coughlin M. Proximal first metatarsal osteotomy 2002. P. 759-777

65. Coughlin, M. J. Juvenile Hallux Valgus: Etiology and Treatment / M. J. Coughlin // Foot & Ankle International. – 1995. – № 11 (16). – P. 682–697.

66. Coughlin, M. J. Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment / M. J. Coughlin, C. P. Jones // Foot & ankle international. – 2007. – № 7 (28). – P. 759–777.

67. Coughlin, M. J. Angular Measurements in the Evaluation of Hallux Valgus Deformities: A Report of the Ad Hoc Committee of the American Orthopædic Foot & Ankle Society on Angular Measurements / M. J. Coughlin, C. L. Saltzman, J. A. Nunley // Foot & Ankle International. – 2002. – № 1 (23). – P. 68–74.

68. Crevoisier, X. The scarf osteotomy for the treatment of hallux valgus deformity: a review of 84 cases /X. Crevoisier, E. Mouhsine, V. Ortolano [et al.] // Foot & ankle international. – 2001. – № 12 (22). – P. 970–976.

69. Cruz, E. P. Comparison between Simple Radiographic and Computed Tomographic Three-Dimensional Reconstruction for Evaluation of the Distal Metatarsal Articular Angle / Cruz E. P., Wagner F. V., C. Henning [et al.] // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2017. – № 3 (56). – P. 505–509.

70. Cuesta-Vargas, A. The psychometric properties of the Spanish version of the Foot Health Status Questionnaire / A. Cuesta-Vargas, P. Bennett, A. M. Jimenez-Cebrian [et al.] // Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation. – 2013. – № 7 (22). – P. 1739–1743.

71. Dalrymple, N. C. Introduction to the Language of Three-dimensional Imaging with Multidetector CT / N. C. Dalrymple, S. R. Prasad, M. W. Freckleton [et al.] // RadioGraphics. 2005. – № 5 (25). – P. 1409–1428.

72. Dance, D. R. Diagnostic radiology physics / D. R. Dance, S. Christofides, A. D. A. Maidment [et al.] //International Atomic Energy Agency. – 2014. – T. 299. P.710

73. Dawson, J. A patient-based questionnaire to assess outcomes of foot surgery: validation in the context of surgery for hallux valgus / J. Dawson, J. Coffey, Doll H. Doll [et al.]// Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation. - 2006. - № 7 (15). - P. 1211–1222.

74. Dawson, J. Responsiveness and minimally important change for the Manchester-Oxford foot questionnaire (MOXFQ) compared with AOFAS and SF-36 assessments following surgery for hallux valgus / J. Dawson, H. Doll, J. Coffey [et al.]// Osteoarthritis and cartilage. –2007. – № 8 (15). – P. 918–931.

75. Dayton, P Is Our Current Paradigm for Evaluation and Management of the Bunion Deformity Flawed? A Discussion of Procedure Philosophy Relative to Anatomy / P. Dayton, M. Kauwe, M. Feilmeier // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2015. – № 1 (54). – P. 102–111.

76. Deenik, A. R. Hallux valgus angle as main predictor for correction of hallux valgus / A. R. Deenik, E. de Visser, J. W. K. Louwerens [et al.]//BMC musculoskeletal disorders. – 2008. – T. 9. – №. 1. – C. 1-6.

77. Dhukaram, V. Mitchell osteotomy for hallux valgus–intermediate follow-up with pedobarographic findings/ V. Dhukaram, M. G. Hullin //Orthopaedic Proceedings. – The British Editorial Society of Bone & Joint Surgery, 2006. – T. 88. – №. SUPP_I. – C. 19-20.

78. Dietze, A. First ray instability in hallux valgus deformity: a radiokinematic and pedobarographic analysis / A. Dietze, U. Bahlke, H. Martin [et al.] // Foot & ankle international. – 2013. – № 1 (34). – P. 124–130.

79. Digiovanni, C. Isolated gastrocnemius tightness / C. W. DiGiovanni, Kuo R., N. Tejwani [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume. – 2002. – № 6 (84). – P. 962–970.

80. Domínguez-Maldonado, G. Normal Values of Metatarsal Parabola Arch in Male and Female Feet / G. Domínguez-Maldonado, P. V. Munuera-Martinez, J. M. Castillo-López [et al.]// The Scientific World Journal. – 2014 – P. 1–5.

81. Doty, J. F. Hallux valgus and hypermobility of the first ray: facts and fiction / J. F. Doty, M. J. Coughlin // International orthopaedics. – 2013. – № 9 (37). – P. 1655–1660.

82. Doty, J. F. Hallux Valgus Deformity and Treatment: A Three-Dimensional Approach / J. F. Doty, W. T. Harris // Foot and ankle clinics. – 2018. – № 2 (23). – P. 271–280.

83. Easley M. E. Prospective, Randomized Comparison of Proximal Crescentic and Proximal Chevron Osteotomies for Correction of Hallux Valgus Deformity / M. E. Easley, G. M. Kiebzak, W. H. Davis [et al.]// Foot & Ankle International. – 1996. – № 6 (17). – P. 307–316.

84. Easley M. E. Current Concepts Review: Hallux Valgus Part 1: Pathomechanics, Clinical Assessment, and Nonoperative Management / M. E. Easley, H.-J. Trnka // Foot & Ankle International. – 2007. – № 5 (28). – P. 654–659.

85. Ellington J. K. The Use of the Lapidus Procedure for Recurrent Hallux Valgus / J. K. Ellington, M. S. Myerson, J. C. Coetzee [et al.] // Foot & Ankle International. – 2011. – № 7 (32). – P. 674–680.

86. Espinosa N. Tarsometatarsal Arthrodesis for Management of Unstable First Ray and Failed Bunion Surgery / N. Espinosa, S. H. Wirth // Foot and Ankle Clinics. – 2011. – № 1 (16). – P. 21–34.

87. Fan H. Implantation of customized 3-D printed titanium prosthesis in limb salvage surgery: a case series and review of the literature / H. Fan, J. Fu, X. Li [et al.] // World Journal of Surgical Oncology. – 2015. – № 1 (13). – P. 308.

88. Ferri M. Weightbearing CT scan of severe flexible pes planus deformities / M. Ferri, A. V. Scharfenberger, G. Goplen [et al.] // Foot & ankle international. – 2008. – № 2 (29). – P. 199–204.

89. Foran I. M. Radiographic Impact of Lapidus, Proximal Lateral Closing Wedge Osteotomy, and Suture Button Procedures on First Ray Length and Dorsiflexion

for Hallux Valgus/ I. M. Foran, N. Mehraban, S. K. Jacobsen [et al.] // Foot Ankle Int. 2020. T. 41. № 8. P. 964–971.

90. Frumberg D. B. Rotational Deformity of the First Ray Precludes Accurate Distal Metatarsal Articular Angle Measurement in Hallux Valgus / D. B. Frumberg, Q. Naziri, R. Pivec[et al.] // Journal of Long-Term Effects of Medical Implants. – 2018. – № 1 (28). – P. 41–46.

91. Fuhrmann R. A. Mid-term results of Scarf osteotomy in hallux valgus / R. A. Fuhrmann, H. Zollinger-Kies, H.-P. Kundert // International Orthopaedics. – 2010. – № 7 (34). – P. 981–989.

92. Gadia A. Emergence of Three-Dimensional Printing Technology and Its Utility in Spine Surgery / A. Gadia, K. Shah, A. Nene // Asian spine journal. – 2018. – № 2 (12). – P. 365–371.

93. Geng X. Mobility of the first metatarsal-cuneiform joint in patients with and without hallux valgus: in vivo three-dimensional analysis using computerized tomography scan / X. Geng, C. Wang, X. Ma [et al.]// Journal of orthopaedic surgery and research. –2015. – № 1 (10). P.1-7.

94. George H. L. Outcome of the scarf osteotomy in adolescent hallux valgus / H. L. George, J. Casaletto, P. N. Unnikrishnan [et al.]// Journal of children's orthopaedics. – 2009. – № 3 (3). – P. 185–190.

95. Glover J. P. Early Results of the Mau Osteotomy for Correction of Moderate to Severe Hallux Valgus: A Review of 24 Cases / J. P. Glover, C. F. Hyer, G. C. Berlet [et al.]// The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2008. – № 3 (47). – P. 237–242.

96. Glynn M. The Mitchell distal metatarsal osteotomy for hallux valgus / M. Glynn, J. Dunlop, D. Fitzpatrick // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1980. –№ 2 (62-B). – P. 188–191.

97. Gouin, F. Computer-Assisted Planning and Patient-Specific Instruments for Bone Tumor Resection within the Pelvis: A Series of 11 Patients / F. Gouin, L. Paul, G. A. Odri [et al.]// Sarcoma. – 2014.– P. 1–9.

98. Grace, D. A comparison of Wilson and Hohmann osteotomies in the treatment of hallux valgus / D. Grace, J. Hughes, L. Klenerman // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1988. – № 2 (70-B). – P. 236–241.

99. Gribbin, C. K. Relationship of Radiographic and Clinical Parameters With Hallux Valgus and Second Ray Pathology / C. K. Gribbin, S. J. Ellis, J. Nguyen [et al.] // Foot & Ankle International. –2017. – № 1 (38). – P. 14–19.

100. Hale, S. Reliability and sensitivity of the Foot and Ankle Disability Index in subjects with chronic ankle instability / S. Hale, J. Hertel // Journal of athletic training. – 2005. – № (1) (40). – P. 35–40.

101. Hammel, E. Complications of first ray osteotomies: a consecutive series of 475 feet with first metatarsal Scarf osteotomy and first phalanx osteotomy / E. Hammel, M. L. Abi Chala, T. Wagner // Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur. – 2007. – № 7 (93). – P. 710–719.

102. Hananouchi T. Tailor-made Surgical Guide Reduces Incidence of Outliers of Cup Placement / T. Hananouchi, M. Saito, T. Koyama [et al.] // Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2010. – № 4 (468). – P. 1088–1095.

103. Hardy, R. H. Observations on hallux valgus / Hardy R. H., Clapham J. C. R./ R. H. Hardy // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1951. – № 3 (33-B). – P. 376–391.

104. Harper M. C. Correction of metatarsus primus varus with the Chevron metatarsal osteotomy. An analysis of corrective factors. / M. C. Harper // Clinical orthopaedics and related research. – 1989. – № 243. – P. 180–3.

105. Hawkins F. B. Correction of hallux valgus by metatarsal osteotomy / F. B. Hawkins, C. L. Mitchell, D. W. Hedrick // JBJS. – 1945. – № 3 (27). – P. 387–394.

106. Heyes G. J. Pes Planus Deformity and Its Association With Hallux Valgus Recurrence Following Scarf Osteotomy / G. J. Heyes, A. R. Vosoughi , L. Weigelt [et al.] // Foot Ankle Int. 2020. T. 41. № 10. C. 1212–1218.

107. Ho, B. Hallux rigidus / B. Ho, J. Baumhauer // EFORT Open Reviews. – 2017. – № 1 (2). – P. 13–20.

108. Hohmann G. Der Hallux valgus und die übrigen Zehenverkrümmungen / G. Hohmann //Ergebnisse der Chirurgie und Orthopädie. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1925. – C. 308-376.

109. Huang P.-J. Radiographic Evaluation of Minimally Invasive Distal Metatarsal Osteotomy for Hallux Valgus / P. J. Huang, Y. C. Lin, Y. C. Fu [et al.] // Foot & Ankle International. – 2011. – № 5 (32). – P. 503–507.

110. Huerta J. The Weil osteotomy: A comprehensive review / J. Huerta, C. Lorente, // Revista Española de Podología. – 2017. – № 2 (28). – P. e38–e51.

111. Hueter C. Klinik der Gelenkkrankheiten mit Einschluss der Orthopädie v. 2, 1871. – Vogel, 1871. – T. 2. P.840

112. Hurson C. Rapid prototyping in the assessment, classification and preoperative planning of acetabular fractures / C. Hurson, A. Tansey, B. O'donnchadha [et al.] // Injury. – 2007. – № 10 (38). – P. 1158–1162.

113. Iliou K. Correlation of the Hallux Sesamoids' Orientation with Various Anatomical Parameters in Patients with Hallux Valgus Deformity / K. Iliou, G. K. Paraskevas, P. Kanavaros [et al.] // Cureus. – 2019. – № 5 (11):e4643. doi: 10.7759/cureus

114. Jastifer J. R. Comparison of radiographic and anatomic distal metatarsal articular angle in cadaver feet / J. R. Jastifer, M. J. Coughlin, S. Schutt [et al.] // Foot & ankle international. – 2014. – № 4 (35). – P. 389–393.

115. Jentzsch T. The influence of the number of screws and additional surgical procedures on outcome in hallux valgus treatment / T. Jentzsch, N. Renner, R. Niehaus [et al.] // Journal of orthopaedic surgery and research. – 2018. – № 1 (13). – P. 99.

116. Jeuken, R. M. Long-term Follow-up of a Randomized Controlled Trial Comparing Scarf to Chevron Osteotomy in Hallux Valgus Correction / R. M. Jeuken, M. G. Schotanus, N. P. Kort [et al.] // Foot & ankle international. – 2016. – № 7 (37). – P. 687–695.

117. John, S. Scarf osteotomy for the correction of adolescent hallux valgus / S. John, L. Weil Jr, L. S. Weil Sr [et al.] // Foot & ankle specialist. – 2010. – № 1 (3). – P. 10–14.

118. Johnson, K. A. Hallux valgus due to cuneiform-metatarsal instability. / K. A. Johnson, T. A. Kile // Journal of the Southern Orthopaedic Association. – 1994. – № 4 (3). – P. 273–82.

119. Jones, G. G. 3D printing and high tibial osteotomy / G. G. Jones, M. Jaere, S. Clarke [et al.] // EFORT Open Reviews. – 2018. – № 5 (3). – P. 254–259.

120. Jones, S. Scarf osteotomy for hallux valgus / S. Jones, Al Hussainy H. A., Ali F. [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 2004. – № 6 (86-B). – P. 830–836.

121. Kakwani, R. Clinical Rating Systems for the Ankle-Hindfoot, Midfoot, Hallux, and Lesser Toes / R. Kakwani, M. Siddique // Classic Papers in Orthopaedics. – 2014. – P. 217–219.

122. Karry, L. K.-L.Percutaneous Chevron Osteotomy in Treating Hallux Valgus: Hong Kong Experience and Mid-Term Results / L. K.-L. Karry, K. Siu-Wah, C. Yuen-Hon // Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation. – 2015. – № 1 (19). – P. 25–30.

123. Kaufmann, G. Outcomes after scarf osteotomy with and without Akin osteotomy a retrospective comparative study / G. Kaufmann, M. Hofmann, H. Ulmer [et al.] // Journal of orthopaedic surgery and research. – 2019. – № 1 (14).P. 1-9.

124. Kayiaros, S. Correction of metatarsus primus varus associated with hallux valgus deformity using the arthrex mini tightrope: a report of 44 cases / S. Kayiaros, B. D. Blankenhorn, J. Dehaven [et al.] // Foot & ankle specialist. – 2011. – № 4 (4). – P. 212–217.

125. Kelikian, A. Sarrafian’s Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional / A. Kelikian// – 2012.P.757.

126. Kemp, T. J. Fracture of the Second Metatarsal Following Suture Button Fixation Device in the Correction of Hallux Valgus / T. J. Kemp, C. B. Hirose, M. J. Coughlin // Foot & Ankle International. – 2010. – № 8 (31). – P. 712–716.

127. Kerr, H. L. Scarf-Akin osteotomy correction for hallux valgus: short-term results from a district general hospital / H. L. Kerr, R. Jackson, P. Kothari // The Journal

of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2010. – № 1 (49). – P. 16–19.

128. Kilmartin, T. E. Combined rotation scarf and Akin osteotomies for hallux valgus: a patient focussed 9 year follow up of 50 patients / T. E. Kilmartin, C. O'Kane // Journal of foot and ankle research. – 2010. – № 1 (3).P. 1-12.

129. Kim, Y. A New Measure of Tibial Sesamoid Position in Hallux Valgus in Relation to the Coronal Rotation of the First Metatarsal in CT Scans / Y. Kim, J. S. Kim, K. W. Young [et al.] // Foot & Ankle International. – 2015. – № 8 (36). – P. 944–952.

130. Kitaoka, H. B. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes / H. B. Kitaoka, I. J. Alexander, R. S. Adelaar [et al.] // Foot & ankle international. – 1994. – № 7 (15). – P. 349–353.

131. Klaue, K. Clinical, Quantitative Assessment of First Tarsometatarsal Mobility in the Sagittal Plane and Its Relation to Hallux Valgus Deformity / K. Klaue, S. T. Hansen, A. C. Masquelet // Foot & Ankle International. – 1994. – № 1 (15). – P. 9–13.

132. Kleinberg, S. The operative cure of hallux valgus and bunions / S. Kleinberg // The American Journal of Surgery. – 1932. – № 1 (15). – P. 75–81.

133. Kramer, J. Die Kramer-Osteotomie zur Behandlung des Hallux valgus und des Digitus quintus varus / J. Kramer // Operative Orthopadie und Traumatologie. – 1990. – № 1 (2). – P. 29–38.

134. Kristen, K. H. The SCARF osteotomy for the correction of hallux valgus deformities / K. H. Kristen, C. Berger, S. Stelzig [et al.] // Foot & ankle international. – 2002. – № 3 (23). – P. 221–229.

135. Kunz, M. The influence of osteophyte depiction in CT for patient-specific guided hip resurfacing procedures / M. Kunz, S. Balaketheeswaran, R. E. Ellis [et al.] // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2015. – № 6 (10). – P. 717–726.

136. Lafon Y. Intraoperative Three-Dimensional Correction During Rod Rotation Technique / Y. Lafon, V. Lafage, J. Dubousset [et al.] // – Spine. – 2009. – № 5 (34). – P. 512–519.

137. Lai M. C. Clinical and Radiological Outcomes Comparing Percutaneous Chevron-Akin Osteotomies vs Open Scarf-Akin Osteotomies for Hallux Valgus / M. C. Lai, I. S. Rikhraj, Y. L. Woo [et al.] // Foot & ankle international. – 2018. – № 3 (39). – P. 311–317.

138. Landorf K. B. An evaluation of two foot-specific, health-related quality-of-life measuring instruments / K. B. Landorf, A. M. Keenan // Foot & ankle international. – 2002. – № 6 (23). – P. 538–546.

139. Lapidus P. W. A quarter of a century of experience with the operative correction of the metatarsus varus primus in hallux valgus. / P. W. Lapidus // Bulletin of the Hospital for Joint Diseases. – 1956. – № 2 (17). – P. 404–21.

140. LaPorta G. A. The Mechanical Axis of the First Ray: A Radiographic Assessment in Hallux Abducto Valgus Evaluation / G. A. LaPorta, E. M Nasser., J. L. Mulhern [et al.] // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2016. – № 1 (55). – P. 28–34.

141. Law G. W. Effect of severity of deformity on clinical outcomes of scarf osteotomies /G.W. Law G. W., K.S. Tay, J.W.S. Lim [et al.] //Foot & Ankle International. – 2020. – T. 41. – №. 6. – P. 705-713.

142. Lechler P. Clinical outcome after Chevron-Akin double osteotomy versus isolated Chevron procedure: a prospective matched group analysis / P. Lechler, C. Feldmann, F. X. Köck [et al.] // Archives of orthopaedic and trauma surgery. – 2012. – № 1 (132). – P. 9–13.

143. Lee K. T. Deceptions in Hallux Valgus / K. T. Lee, Y. U. Park, H. Jegal [et al.] // Foot and Ankle Clinics. – 2014. – № 3 (19). – P. 361–370.

144. Lee, M. Hallux Valgus Correction Comparing Percutaneous Chevron/Akin (PECA) and Open Scarf/Akin Osteotomies / M. Lee, J. Walsh, M. M. Smith [et al.] // Foot & ankle international. – 2017. – № 8 (38). – P. 838–846.

145. Leeuwen, J. A. V. Comparison of planned and achieved implant position in total knee arthroplasty with patient-specific positioning guides / J. A. V. Leeuwen, B. Grøgaard, L. Nordsletten [et al.]// Acta Orthopaedica. – 2015. – № 2 (86). – P. 201–207.

146. Lenz, C. G. Scarf osteotomy for hallux valgus deformity: Radiological outcome, metatarsal length and early complications in 118 feet / C. G. Lenz, R. Niehaus, I Knych., K Eid. [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2021. – № 1 (27). – P. 20–24.

147. Lepistö J. Periacetabular osteotomy in adult hip dysplasia - developing a computer aided real-time biomechanical guiding system (BGS). / J. Lepistö, M. Armand, R. S. Armiger // Suomen ortopedia ja traumatologia = Ortopedi och traumatologi i Finland = Finnish journal of orthopaedics and traumatology. – 2008. – № 2 (31). – P. 186–190.

148. Lim P. K. Use of 3D printed models in resident education for the classification of acetabulum fractures / P.K. Lim, G. S. Stephenson, T. W. Keown [et al.] //Journal of surgical education. – 2018. – Т. 75. – №. 6. – С. 1679-1684.

149. Lipscombe S. Scarf osteotomy for the correction of hallux valgus: midterm clinical outcome / S. Lipscombe, A. Molloy, S. Sirikonda [et al.] // The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2008. – № 4 (47). – P. 273–277.

150. Li X. The excessive length of first ray as a risk factor for hallux valgus recurrence / X. Li, M. Guo, Y. Zhu [et al.] // Plos one. – 2018. –№ 10 (13). P. e0205560-e0205560.

151. Lorei T. J. Pedographic, clinical, and functional outcome after scarf osteotomy / T. J. Lorei, C. Kinast, H. Klärner [et al.] // Clinical orthopaedics and related research. – 2006. – № 451. – P. 161–166.

152. Lucas y Hernandez J. Treatment of moderate hallux valgus by percutaneous, extra-articular reverse-L Chevron (PERC) osteotomy / J. Lucas y Hernandez, P. Golanó, S. Roshan-Zamir [et al.] // The Bone & Joint Journal. – 2016. – № 3 (98-B). – P. 365–373.

153. MacDonald A. Role of Patient-Reported Outcome Measures on Predicting Outcome of Bunion Surgery / A. MacDonald, J. Houck, J.F. Baumhauer // Foot Ankle Int. 2020. Т. 41. № 2. С. 133–139.

154. Mac-Thiong J.-M. Evaluation of a transpedicular drill guide for pedicle screw placement in the thoracic spine / J. M. Mac-Thiong, H. Labelle, M. Rooze [et al.] // European Spine Journal. – 2003. – № 5 (12). – P. 542–547.

155. Magnan B. Percutaneous Distal Metatarsal Osteotomy for Correction of Hallux Valgus / B. Magnan// The Journal of Bone and Joint Surgery (American). – 2005. – № 6 (87). – P. 1191.

156. Magnan B. Minimally invasive distal first metatarsal osteotomy can be an option for recurrent hallux valgus / B. Magnan, S. Negri, T. Maluta [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2019. – № 3 (25). – P. 332–339.

157. Maguire W. The Lapidus procedure for hallux valgus / W. Maguire // J Bone Joint Surg Br. – 1973. – (55). – P. 221.

158. Malviya A. Laing P. Scarf osteotomy for hallux valgus—is an Akin osteotomy necessary? / A. Malviya, N. Makwana, P. Laing // Foot and Ankle Surgery. – 2007. – № 4 (13). – P. 177–181.

159. Mann R. A., Donatto K. C. The Chevron Osteotomy: A Clinical and Radiographic Analysis / R. A. Mann // Foot & Ankle International. – 1997. – № 5 (18). – P. 255–261.

160. Martelli N. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review / N. Martelli, C. Serrano, H. van den Brink [et al.] // Surgery. – 2016. – № 6 (159). – P. 1485–1500.

161. Matthews M. et al. Correlation of preoperative radiographic severity with disability and symptom severity in hallux valgus / M. Matthews, E. Klein, A. Acciani [et al.] //Foot & ankle international. – 2019. – Т. 40. – №. 8. – С. 923-928.

162. McDonald E. Driving After Hallux Valgus Surgery / E. McDonald, R. Shakked, J. Daniel [et al.] // Foot & Ankle International. – 2017. – № 9 (38). – P. 982–986.

163. Meehan R. E. Adult acquired flat foot deformity: clinical and radiographic examination / R. E. Meehan, M. Brage // Foot and ankle clinics. – 2003. – № 3 (8). – P. 431–452.

164. Menz H. B. Epidemiology of Shoe Wearing Patterns Over Time in Older Women: Associations With Foot Pain and Hallux Valgus / H. B. Menz, E. Roddy, M. Marshall [et al.] // The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. – 2016. – № 12 (71). – P. 1682–1687.

165. Merkel K. D. Mitchell Osteotomy for Hallux Valgus: Long-term Follow-up and Gait Analysis / K. D. Merkel, Y. Katoh, Jr E. W. Johnson [et al.] // Foot & Ankle. – 1983. – № 4 (3). – P. 189–196.

166. Meyr A. J. The etiology of hallux abductovalgus described in six pieces / A. J. Meyr //Evidence-Based Bunion Surgery. – Springer, Cham, 2018. – C. 23-41.

167. Miller J. W. Acquired hallux varus: a preventable and correctable disorder. / J. W. Miller // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 1975. – № 2 (57). – P. 183–8.

168. Mitchell C. L. Osteotomy-bunionectomy for hallux valgus. / C. L. Mitchell, J. L. Fleming, R. Allen [et al.] // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 1958. – № 1 (40-A). – P. 41–58; discussion 59-60.

169. Mitchell L. A. A Chevron-Akin Double Osteotomy for Correction of Hallux Valgus / L. A. Mitchell, D. E. Baxter // Foot & Ankle. – 1991. – № 1 (12). – P. 7–14.

170. Mitsouras D. 3D printing technologies / Mitsouras D. Mitsouras, P. C. Liacouras //3D printing in medicine. – Springer, Cham, 2017. – C. 5-22.

171. Miyake J. Distal Radius Osteotomy with Volar Locking Plates Based on Computer Simulation / J. Miyake., T. Murase, H. Moritomo [et al.] // Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2011. – № 6 (469). – P. 1766–1773.

172. Mizuno K. Treatment of Hallux Valgus by Oblique Osteotomy of the First Metatarsal / Mizuno K., Hashimura M., Kimura M. [et al.] // Foot & Ankle. – 1992. – № 8 (13). – P. 447–452.

173. Mohan A. Virtual reality--a «play station» of the future. A review of virtual reality and orthopaedics. / A. Mohan, M. Proctor// Acta orthopaedica Belgica. – 2006. – № 6 (72). – P. 659–63.

174. Molloy A. Scarf osteotomy / A. Molloy, J. Widnall // Foot and ankle clinics. – 2014. – № 2 (19). – P. 165–180.

175. Munteanu S. E. Hallux Valgus, By Nature or Nurture? A Twin Study / S. E. Munteanu, H. B. Menz, J. D. Wark [et al.] // Arthritis Care & Research. – 2017. – № 9 (69). – P. 1421–1428.

176. Munuera P. Length of the first metatarsal and hallux in hallux valgus in the initial stage / P. V. Munuera, J. Polo, J. Rebollo //International Orthopaedics. – 2008. – T. 32. – №. 4. – C. 489-495.

177. Murawski C. D., Egan C. J., Kennedy J. G. A rotational scarf osteotomy decreases troughing when treating hallux valgus / C. D. Murawski, C. J. Egan, J. G. Kennedy // Clinical orthopaedics and related research. – 2011. – № 3 (469). – P. 847–853.

178. Neal M. L. Current progress in patient-specific modeling / M. L. Neal, R. Kerckhoffs // Briefings in Bioinformatics. – 2010. – № 1 (11). – P. 111–126.

179. Nery C. Hallux Valgus in Males—Part 1 / C. Nery, M. J. Coughlin, D. Baumfeld [et al.] // Foot & Ankle International. – 2013. – № 5 (34). – P. 629–635.

180. Newman A. S. A biomechanical comparison of the Z step-cut and basilar crescentic osteotomies of the first metatarsal / A. S. Newman, J. P. Negrine, M. Zecovic [et al.]// Foot & ankle international. – 2000. – № 7 (21). – P. 584–587.

181. Ng V. Y. Improved Accuracy of Alignment With Patient-specific Positioning Guides Compared With Manual Instrumentation in TKA / V. Y. Ng, J. H. DeClaire, K. R. Berend [et al.] // Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2012. – № 1 (470). – P. 99–107.

182. Niikura T. Tactile Surgical Navigation System for Complex Acetabular Fracture Surgery / T. Niikura, M. Sugimoto, S. Y. Lee [et al.] // Orthopedics. – 2014. – № 4 (37). – P. 237–242.

183. Nix S. Prevalence of hallux valgus in the general population: a systematic review and meta-analysis / S. Nix, M. Smith, B. Vicenzino // Journal of foot and ankle research. – 2010. – № 1 (3).P. C. 1-9.

184. Oh I. S. Clinical and Radiological Results after Modified Distal Metatarsal Osteotomy for Hallux Valgus / R. Okuda, M. Kinoshita, T. Yasuda [et al.] // Foot & Ankle International. – 2008. – № 5 (29). – P. 473–477.

185. Paley D. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. / D. Paley, J. E. Herzenberg, K. Tetsworth [et al.] // The Orthopedic clinics of North America. – 1994. – № 3 (25). – P. 425–65.

186. Peabody C. The surgical cure of hallux valgus / C. Peabody // JBJS. – 1931. – № 2 (13). – P. 273–282.

187. Perera A. M. The pathogenesis of hallux valgus / A. M. Perera, L. Mason, M. M. Stephens // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2011. – № 17 (93). – P. 1650–1661.

188. Perugia D. The scarf osteotomy for severe hallux valgus / D. Perugia, A. Basile, A. Gensini [et al.] // International orthopaedics. – 2003. – № 2 (27). – P. 103–106.

189. Pinsker E. AOFAS position statement regarding the future of the AOFAS Clinical Rating Systems / E. Pinsker, T. R. Daniels // Foot & ankle international. – 2011. – № 9 (32). – P. 841–842.

190. Piqué-Vidal P. Hallux Valgus Inheritance: Pedigree Research in 350 Patients With Bunion Deformity / P. Piqué-Vidal, M. T. Solé, J. Antich // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2007. – № 3 (46). – P. 149–154.

191. Piqué-Vidal C. A geometric analysis of hallux valgus: correlation with clinical assessment of severity / C. Piqué-Vidal, J. Vila // Journal of foot and ankle research. – 2009. – № 1 (2). P. 1-8.

192. Raikin S. M. Recurrence of hallux valgus: a review / S. M. Raikin, A. G. Miller, J. Daniel // Foot and ankle clinics. – 2014. – № 2 (19). – P. 259–274.

193. Ray J. J. Hallux Valgus / J.J. Ray, A.J. Friedmann, A.E. Hanselman [et al.] // Foot & Ankle Orthopaedics. – 2019. – № 2 (4). P. 537-544.

194. Rengier F. 3D printing based on imaging data: review of medical applications / F. Rengier, A. Mehndiratta, H. Von Tengg-Kobligk [et al.] // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2010. – № 4 (5). – P. 335–341.

195. Reverdin J. De la deviation en dehors du gros orl (hallux valgus) et son traitement chirurgical / J. Reverdin// – 1881. – 408–412 c.

196. Richter, M. A new foot and ankle outcome score: questionnaire based, subjective, visual-analogue-scale, validated and computerized / M. Richter, S. Zech, J. Geerling, J. [et al.] // Foot and Ankle. 2006. – № 4 (13). – P. 191–199.

197. Roling, B. A Biomechanics of the first ray. Part IV: The effect of selected medial column arthrodeses. A three-dimensional kinematic analysis in a cadaver model / B.A. Roling, J.C. Christensen, C. H. Johnson // The Journal of Foot and Ankle Surgery. 2002. – № 5 (41). – P. 278–285.

198. Saltzman C. L. et al. Reliability of standard foot radiographic measurements / C. L. Saltzman, E. A. Brandser, K. S. Berbaum [et al.] //Foot & ankle international. – 1994. – T. 15. – №. 12. – P. 661-665.

199. Saro, C. Quality-of-life outcome after hallux valgus surgery / C. Saro, I. Jensen, U. Lindgren [et al.] // Quality of life research : an international journal of quality of life aspects of treatment, care and rehabilitation. – 2007. – № 5 (16). – P. 731–738.

200. Schemitsch, E.Wilson's osteotomy for the treatment of hallux valgus. / E. Schemitsch, G. Horne // Clinical orthopaedics and related research. – 1989. – № 240. – P. 221–5.

201. Schneider, W. Normative data for the American Orthopedic Foot and Ankle Society ankle-hindfoot, midfoot, hallux and lesser toes clinical rating system / W. Schneider, S. Jurenitsch // International Orthopaedics – 2015. – № 2 (40). – P. 301–306.

202. Schoen, N. S. Z-Bunionectomy: Retrospective long-term study / N. S. Schoen, K. Zygmunt, C. Gudas // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 1996. – № 4 (35). – P. 312–317.

203. Schuh, R. Metatarsalgia: distal metatarsal osteotomies / R. Schuh, H. J. Trnka // Foot and ankle clinics. – 2011. – № 4 (16). – P. 583–595.

204. Scott, G. Age-related differences in foot structure and function / G. Scott, H. B. Menz, L. Newcombe // Gait & Posture. – 2007. – № 1 (26). – P. 68–75.

205. Shibuya, N. Mobility of the First Ray in Patients With or Without Hallux Valgus Deformity: Systematic Review and Meta-Analysis / N. Shibuya, T. S. Roukis, D. C Jupiter. // The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2017. – № 5 (56). – P. 1070–1075.

206. Skoták, M. Scarf osteotomy for the treatment of forefoot deformity. / M. Skoták, J. Běhounek // Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca. – 2006. – № 1 (73). – P. 18–22.

207. Smith, B. W. The first metatarsocuneiform joint, hypermobility, and hallux valgus: what does it all mean? / B. W. Smith, M. J. Coughlin // Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons. – 2008. – № 3 (14). – P. 138–141.

208. Smith, S. E. Scarf versus chevron osteotomy for the correction of 1-2 intermetatarsal angle in hallux valgus: a systematic review and meta-analysis / S. E. Smith, K. B. Landorf, P. A. Butterworth [et al.]// The Journal of foot and ankle surgery : official publication of the American College of Foot and Ankle Surgeons. – 2012. – № 4 (51). – P. 437–444.

209. Sobrón, F. B. Technique tip: 3D printing surgical guide for pes cavus midfoot osteotomy / F. B. Sobrón, A. Dos Santos-Vaquinhas, B. Alonso [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2021. P. 371-377.

210. Starosolski, Z. A. Application of 3-D printing (rapid prototyping) for creating physical models of pediatric orthopedic disorders / Z. A. Starosolski, J. H. Kan, S. D. Rosenfeld [et al.]// Pediatric Radiology. 2014. – № 2 (44). – P. 216–221.

211. Stienstra, J. J. Large displacement distal chevron osteotomy for the correction of hallux valgus deformity / J. J. Stienstra, J. A. Lee, D. T. Nakadate // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2002. – № 4 (41). – P. 213–220.

212. Strydom, A. A radiographic analysis of the contribution of hallux valgus interphalangeus to the total valgus deformity of the hallux /A. Strydom, N. P. Saragas, P. N. F. Ferrao // Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons. – 2017. – № 1 (23). – P. 27–31.

213. Sutherland J. M. Relationship of Duration of Wait for Surgery and Postoperative Patient-Reported Outcomes for Hallux Valgus Surgery / J. M. Sutherland, K. Wing, A. Younger [et al.]// Foot Ankle Int. 2019. T. 40. № 3. C. 259–267.

214. Swanton, E. How Do I Use the Scarf Osteotomy to Rotate the Metatarsal and Correct the Deformity in Three Dimensions? / E. Swanton, L. Mason, A. Molloy // Foot and Ankle Clinics. – 2018. – № 2 (23). – P. 239–246.

215. Szaboky, G. T., Raghaven V. C. Modification of Mitchell's Lateral Displacement Angulation Osteotomy / G. T. Szabok, V. C. Raghaven // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 1969. – № 7 (51). – P. 1430–1431.

216. Takeyasu, Y. Preoperative, Computer Simulation-Based, Three-Dimensional Corrective Osteotomy for Cubitus Varus Deformity with Use of a Custom-Designed Surgical Device / Takeyasu Y., Oka K., Miyake J. [et al.] // Journal of Bone and Joint Surgery. – 2013. – № 22 (95). – P. e173.

217. Tanaka, Y. Radiographic analysis of hallux valgus. A two-dimensional coordinate system. / Y. Tanaka, Y. Takakura, T. Kumai [et al.] // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 1995. – № 2 (77). – P. 205–213.

218. Trace, A. P. Radiology's Emerging Role in 3-D Printing Applications in Health Care / A. P. Trace, D. Ortiz, A. Deal [et al.] // Journal of the American College of Radiology. – 2016. – № 7 (13). – P. 856-862.

219. Trnka, H. J. Modified Austin Procedure for Correction of Hallux Valgus / H. J. Trnka, A. Zembsch, H. Wiesauer [et al.]// Foot & Ankle International. – 1997. – № 3 (18). – P. 119–127.

220. Trnka, H. J. The chevron osteotomy for correction of hallux valgus. Comparison of findings after two and five years of follow-up. / H. J. Trnka, A. Zembsch, M. E. Easley [et al.]// The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2000. – № 10 (82). – P. 1373–8.

221. Trnka, H.J. Intermediate-Term Results of the Ludloff Osteotomy in One Hundred and Eleven Feet / H. J. Trnka, S. G. Hofstaetter, J. G. Hofstaetter [et al.]// The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume. – 2008. – № 3 (90). – P. 531–539.

222. Trnka, H. J. SCARF osteotomy / H. J. Trnka, P. Bock // Der Orthopade. – 2017. – № 5 (46). – P. 408–413.

223. Truslow, W. Metatarsus primus varus or hallux valgus? / W. Truslow// JBJS. – 1925. – № 1 (7). – P. 98–108.

224. Tu, D.P. Three-dimensional printing combined with open reduction and internal fixation versus open reduction and internal fixation in the treatment of acetabular fractures: A systematic review and meta-analysis / D. P. Tu, Y. K. Yu, Z. Liu [et al.]// Chinese Journal of Traumatology. – 2021. – № 3 (24). – P. 159–168.

225. Uygur E. The role of 3D modeling in education of orthopedic trainees for the treatment of foot deformities / E. Uygur, İ. Ürkmen, B. Özturan [et al.] //Acta Chir Orthop Traumatol Cech. – 2020. – T. 87. – №. 5. – C. 346-349.

226. Voleti, P. B. Current Data Do Not Support Routine Use of Patient-Specific Instrumentation in Total Knee Arthroplasty / P. B. Voleti, M. J. Hamula, K. D. Baldwin [et al.]// The Journal of Arthroplasty. – 2014. – № 9 (29). – P. 1709–1712.

227. Volkmann R. Über die sogenannte Exostose der großen Zehe / R. Volkmann //Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin. – 1856. – T. 10. – №. 3. – C. 297-306.

228. Wang, X. Biomechanical modelling of a direct vertebral translation instrumentation system: preliminary results. / X. Wang, C. É. Aubin, H. Labelle [et al.]// Studies in health technology and informatics. – 2008. – 140 – P. 128–32.

229. Weidert, S. 3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training : Possibilities and fields of application / S. Weidert, S. Andress, E. Suero [et al.] // Der Unfallchirurg. – 2019. – № 6 (122). – P. 444–451.

230. Weil, L. S. Scarf osteotomy for correction of hallux valgus. Historical perspective, surgical technique, and results. / L. S. Weil// Foot and Ankle Clinics. – 2000. – № 3 (5). – P. 559–580.

231. Wilson, J. Oblique displacement osteotomy for hallux valgus / J. Wilson // The Journal of bone and joint surgery. British volume. – 1963. (45). – P. 552–6.

232. Wong, K.C. Computer assisted pelvic tumor resection and reconstruction with a custom-made prosthesis using an innovative adaptation and its validation / K. C. Wong, S. M. Kumta, K. H. Chiu [et al.] // Computer Aided Surgery. – 2007. – № 4 (12). – P. 225–232.

233. Wong, K. C. Image Fusion for Computer-assisted Bone Tumor Surgery / K. C. Wong, S. M. Kumta, G. E. Antonio [et al.]// Clinical Orthopaedics & Related Research. – 2008. – № 10 (466). – P. 2533–2541.

234. Wong, K. C. Use of a patient-specific CAD/CAM surgical jig in extremity bone tumor resection and custom prosthetic reconstruction / K. C. Wong, S. M. Kumta, K. Y. Sze [et al.] // Computer Aided Surgery. – 2012. – № 6 (17). – P. 284–293.

235. Wong, K. C. One-step reconstruction with a 3D-printed, biomechanically evaluated custom implant after complex pelvic tumor resection / K. C. Wong, S. M. Kumta, N. V. Geel [et al.] // Computer Aided Surgery. – 2015. – № 1 (20). – P. 14–23.

236. Wong, K. C. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics / K. C. Wong // Orthopedic research and reviews. – 2016. (8). – P. 57–66.

237. Wong, K.C. Patient-specific instrument can achieve same accuracy with less resection time than navigation assistance in periacetabular pelvic tumor surgery: a cadaveric study / K. C. Wong, K. Y. Sze, I. O. L. Wong [et al.] // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2016. – № 2 (11). – P. 307–316.

238. Wong, T. M. The use of three-dimensional printing technology in orthopaedic surgery / T. M. Wong, J. Jin, T. W. Lau [et al.] // Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong). – 2017. – № 1 (25). P. 23-27.

239. Wu D. Y. Radiological Evaluation of a Preoperative First Metatarsal Realignment Test for Metatarsus Primus Varus and Hallux Valgus Correction by the Syndesmosis Procedure/ D. Y. Wu, E. K. F.Lam // Foot Ankle Int. 2020. T. 41. № 3. C. 342–349.

240. Wu, K. K. Mitchell’s bunionectomy and wu’s bunionectomy: a comparison of 100 cases of each procedure / K. K Wu // Orthopedics. – 1990. – № 9 (13). – P. 1001–1007.

241. Wu K. K. Wu’s bunionectomy: a clinical analysis of 150 personal cases. / K. K. Wu // The Journal of foot surgery. – № 3 (31). – P. 288–97.

242. Wülker N., Mittag F. The Treatment of Hallux Valgus / N. Wülker, F. Mittag // Deutsches Ärzteblatt international. – 2012. P. 857

243. Xie, L. Three-dimensional printing assisted ORIF versus conventional ORIF for tibial plateau fractures: A systematic review and meta-analysis / L. Xie, C. Chen, Y. Zhang [et al.]// International journal of surgery (London, England). – 2018. (57). – P. 35–44.

244. Xiong, L. The efficacy of 3D printing-assisted surgery for traumatic fracture: a meta-analysis / L. Xiong, X. Li, H. Li [et al.]// Postgraduate Medical Journal. – 2019. – № 1126 (95). – P. 414–419.

245. Yang, P. 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture / P. Yang, D. Du, Z. Zhou [et al.] // – Injury. 2016. – № 12 (47). – P. 2816–2821.

246. Yildirim, Y. Effect of Metatarsophalangeal Joint Position on the Reliability of the Tangential Sesamoid View in Determining Sesamoid Position / Y. Yildirim, C. Abukoglu, B. Erol, [et al.] // Foot & Ankle International. – 2005. – № 3 (26). – P. 247–250.

247. Zimmer, T. J. Treatment of Hallux Valgus in Adolescents by the Chevron Osteotomy / T. J. Zimmer, K. A. Johnson, R. A. Klassen// Foot & Ankle. – 1989. – № 4 (9). – P. 190–193.

248. Ziv, S. D. S. P. R. W. A. Patient safety and simulation-based medical education / S. D. S. P. R. W. A. Ziv // Medical Teacher. – 2000. – № 5 (22). – P. 489–495.

249. Zygmunt, K.H. Z-bunionectomy with internal screw fixation / K.H. Zygmunt, C.J. Gudas, G.S. Laros // Journal of the American Podiatric Medical Association. – 1989. – № 7 (79). – P. 322–329.