

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ДЕТСКОЙ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ ИМЕНИ Г.И.ТУРНЕРА"
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

САПОГОВСКИЙ

Андрей Викторович

**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДЕТЕЙ
С РИГИДНЫМ ПЛОСКОСТОПИЕМ**

3.1.8. Травматология и ортопедия

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

Научный консультант:
доктор медицинских наук
профессор
Кенис Владимир Маркович

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПАТОГЕНЕЗА И ДИАГНОСТИКИ РИГИДНОГО ПЛОСКОСТОПИЯ У ДЕТЕЙ, ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЛЕЧЕНИЯ	
1.1 Терминология и частота встречаемости плоскостопия в детском возрасте	20
1.2 Классификация	21
1.3 Этиология и эпидемиология	24
1.4 Диагностика плоскостопия у детей	25
1.5 Нарушение функции при плоскостопии у детей	27
1.6 Хирургическое лечение детей с ригидным плоскостопием	29
1.6.1 Операции, направленные на устранение анатомических причин ригидности	30
1.6.2 Артрорез подтаранного сустава	31
1.6.3 Остеотомии	33
1.6.4 Мягкотканые вмешательства при коррекции плоскостопия.....	35
1.6.5 Артродезирующие вмешательства	37
1.7 Терминология, используемая в диссертационном исследовании	38
1.8 Заключение	40
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	
2.1 Схема проводимого исследования	42
2.1.1 Дизайн исследования	43
2.2 Клиническое обследование	48
2.2.1 Оценка формы стопы	48
2.2.2 Оценка мобильности суставов предплюсны	50
2.3 Инструментальное обследование	53
2.3.1 Плантография у детей с плоскостопием	53
2.3.2 Рентгенометрия стоп у детей с плоскостопием.....	54

2.3.3 Оценка качественных рентгенологических критериев у детей с плоскостопием	56
2.3.4 Определение выраженности дегенеративных изменений на рентгенограммах стоп.....	57
2.3.5 Компьютерная томография.....	58
2.3.6 Магнитно-резонансная томография	58
2.3.7 Ультразвуковое исследование	58
2.3.8 Электромиография	60
2.4 Анализ походки	61
2.5 Определение силы трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием	62
2.6 Статистическая обработка полученных данных	63
2.6.1 Предварительный расчет размера выборки в исследовании	63
2.6.2 Общие подходы в обработке данных	64
Глава 3. КЛИНИКО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРОВ СТОП У ПАЦИЕНТОВ С ПЛОСКОСТОПИЕМ	
3.1 Оценка формы стопы у пациентов с плоскостопием	66
3.1.1 Клиническая диагностика плоскостопия	66
3.1.2 Оценка мобильности суставов предплюсны у детей с плоскостопием	68
3.1.3 Новые клинические тесты мануальной оценки мобильности суставов предплюсны	69
3.1.3.1 Определение пяточно-ладьевидной мобильности и результаты оценки теста	70
3.1.3.2 Определение трансляции пяточной кости и результаты оценки теста	72
3.1.3.3 Определение мобильности подтаранного сустава на основании оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы и результаты оценки теста	73

3.1.3.4 Мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава и результаты оценки теста	75
3.1.4 Оценка структуры сухожилия задней большеберцовой мышцы.....	76
3.1.5 Оценка ретракции трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием.....	78
3.1.6 Сравнительный анализ тыльного сгибания стоп у пациентов с плоскостопием	86
3.2 Оценка функции стопы.....	91
3.2.1 Сила трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием	91
3.2.2 Клиническая оценка функции стопы.....	98
3.3.1 Результаты оценки жалоб на основании Оксфордского опросника состояния стопы и голеностопного сустава	113
3.3.2 Взаимосвязь формы стопы и жалоб пациентов на основании результатов Оксфордского опросника состояния стопы и голеностопного сустава	115
3.4 Инструментальная диагностика плоскостопия	117
3.4.1 Плантографическое исследование детей с плоскостопием	117
3.4.2 Рентгенометрическое исследование детей с плоскостопием.....	120
3.4.3 Оценка клинико-рентгенографических взаимосвязей у пациентов с плоскостопием	121
3.4.4 Новые рентгенометрические критерии, характеризующие положение подтаранного сустава	126
3.4.4.1 Таранно-пяточное соотношение	127
3.4.4.2 Угол тарзального синуса.....	130
3.4.5 Оценка качественных рентгенологических критериев у детей с плоскостопием	132
3.5 Естественная динамика клинико-рентгенологических параметров стоп у детей с плоскостопием	135
3.6 Кластерный анализ анатомо-функциональных параметров плоскостопия	138

3.7 Заключение	143
Глава 4. ХИРУРГИЧЕСКИЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВА, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УВЕЛИЧЕНИЕ МОБИЛЬНОСТИ СУСТАВОВ ПРЕДПЛЮСНЫ У ПАЦИЕНТОВ С РИГИДНЫМ ПЛОСКОСТОПИЕМ	
4.1 Устранение причин анатомической ригидности суставов предплюсны.....	145
4.1.1 Анатомические особенности при резекции пяточно-ладьевидных коалиций	145
4.1.2 Резекция таранно-пяточных коалиций.....	157
4.1.3 Резекция латерального отростка таранной кости	161
4.2 Рентгенологическая оценка мобильности после резекции коалиции.....	162
4.3 Клиническая оценка мобильности после резекции коалиций.....	164
4.3.1 Результаты оценки мобильности подтаранного сустава после резекции коалиций	164
4.3.2 Клиническая оценка мобильности суставов предплюсны после устранения причин анатомической ригидности	166
4.4 Результаты оценки изменения формы стопы после резекции коалиций	168
4.5 Коррекция укорочения трехглавой мышцы голени	170
4.5.1 Результаты удлинения трехглавой мышцы голени посредством ахиллопластики	171
4.5.2 Результаты удлинения трехглавой мышцы голени посредством рецессии икроножной мышцы.....	176
4.5 Осложнения после вмешательств, направленных на увеличение мобильности суставов предплюсны	181
4.6 Заключение	183
Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ПЛОСКОСТОПИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРТРОЭРЕЗА ПОДТАРАННОГО СУСТАВА	
5.1 Артроэрез подтаранного сустава.....	185

5.1.1 Артрорез подтаранного сустава с использованием подтаранных имплантов	185
5.1.2 Артрорез подтаранного сустава с использованием винта в пяточную кость	194
5.1.3 Артрорез подтаранного сустава с использованием винта в таранной кости	212
5.1.4 Осложнения артролиза подтаранного сустава	227
5.1.4.1 Миграция подтаранных имплантов	227
5.1.4.2 Периимплантный лизис кости при артролизе подтаранного сустава	230
5.1.4.3 Изменение расположения винта в таранной и пяточной на разных сроках наблюдения	234
5.1.4.4 Переломы металлоконструкций при артролизе подтаранного сустава ...	239
5.1.4.5 Боли в области тарзального синуса	246
5.1.5 Сравнительный анализ различных вариантов артролиза	249
5.1.6 Заключение	253

Глава 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ПЛОСКОСТОПИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСТЕОТОМИЙ НА УРОВНЕ СРЕДНЕГО И ЗАДНЕГО ОТДЕЛОВ СТОПЫ

6.1 Остеотомии пяточной кости	254
6.1.1 Удлиняющая остеотомия пяточной кости (операция Evans)	254
6.1.2 Удлиняющая остеотомия пяточной кости (операция Hintermann)	281
6.2 Дополнительные вмешательства при использовании остеотомий на уровне среднего и заднего отделов стопы	288
6.2.1 Флексионная остеотомия медиальной клиновидной кости (операция Cotton)	288
6.2.2 Вмешательства на мягких тканях медиальной поверхности стопы	295
6.3 Артродезирующие вмешательства при плоскостопии	296

6.4 Осложнения после неанатомических методов стабилизации суставов предплюсны	302
6.5 Заключение	303
Глава 7. ВЫБОР МЕТОДА СТАБИЛИЗАЦИИ СУСТАВОВ ПРЕДПЛЮСНЫ	
7.1 Цель стабилизации суставов предплюсны при плоскостопии	305
7.2 Определение оптимального возраста для коррекции деформации стопы	312
7.3 Планирование величины коррекции деформации стопы.....	314
7.4 Алгоритм хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием	334
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	337
ВЫВОДЫ	345
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	347
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	348
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	349

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Частота встречаемости плоскостопия в детском возрасте варьирует от 21 до 97% и зависит от возраста и метода оценки (Годунов С.Ф. 1972; Борзунов А.В. 2015; Т. Ю. Затравкина и др. 2020). Чаще всего уплощение свода стопы отражает этапы нормального развития ребенка, но в некоторых случаях является патологическим состоянием, определяющим развитие болевого синдрома и функциональных ограничений (Годунов С.Ф. 1984; Комачева О.А. 2011). Для оценки выраженности плоскостопия существует большое количество систем классификации, основанных на клинических, рентгенологических и плантографических критериях (Затравкина Т.Ю., Рубашкин С.А., Дохов М.М. 2018; L. Staheli 1987; I. Mathieson, D. Upton, D. Trevor 2004; J. Hamel, H. Hörterer, N. Harrasser 2020). Оценка степени деформации стопы с использованием разных параметров показывает разную степень деформации в зависимости от метода оценки. Наиболее патогенетически обоснованной классификацией плоскостопия является его разделение на мобильные и ригидные формы (С. Young et al. 2005; V. Mosca 2010; P. Bresnahan, M. Juanto 2020). Выделение мобильных и ригидных форм плоскостопия позволяет выделить некоторые патологические формы этого состояния, характеризующиеся высоким риском развития болевого синдрома (Бландинский В. Ф., Вавилов М. А., Громов И. В. 2012). Однако, определенная часть детей с мобильным плоскостопием также имеют боли в стопах (R. Cailliet 2005). Помимо этого, нет единого мнения в отношении того, к какой форме относить плоскостопие с укорочением ахиллова сухожилия.

Ввиду неэффективности консервативного лечения, направленного на изменение формы стопы, основным методом коррекции деформации стопы является хирургическое лечение (Димитриева А.Ю., Кенис В.М. 2021; M. Bouchard, V. Mosca 2014). Среди множества методов коррекции деформации стопы наибольшей популярностью пользуются артрорез подтаранного сустава и

удлиняющая остеотомия пяточной кости (B. J. Sangeorzan, V. Mosca, S. T. Hansen 1993; K. Bauer, V. Mosca, L. Zions 2016; M. De Pellegrin, D. Moharamzadeh 2021). Влияние на коррекцию деформации стопы вмешательств на активных и пассивных стабилизаторах также остается предметом дискуссии (Меркулов В. Н., Имяров Ш. Д., Дорохин А. И. 2014). Вместе с тем в литературе нет четких показаний к хирургическому лечению детей с плоскостопием. Не определены показания к выбору метода стабилизации – артрорез подтаранного сустава или удлиняющая остеотомия пяточной кости. Нет критериев выбора метода артрореза подтаранного сустава. Большинство публикаций, посвященных хирургическому лечению детей с плоскостопием, ограничивается описанием серии наблюдений без детального анализа отдаленных результатов лечения с учетом оценки функции стопы.

Степень разработанности темы исследования

Для описания формы стопы разработано большое количество клинических критериев, однако не выделены наиболее важные показатели, которые следует учитывать при диагностике детей с плоскостопием. Разделение детей с плоскостопием на основании оценки мобильности суставов предплюсны позволяет выделить патологические формы плоскостопия (A. Atik, S. Ozyurek 2014). Ригидные формы плоскостопия чаще всего ассоциированы с аномалиями развития костей предплюсны, обуславливающими нарушение мобильности стопы, - тарзальные коалиции, добавочные кости и другие аномалии развития (P. Docquier, P. Maldaque, M. Bouchard 2019; J. Soni, W. Valenza, C. Matsunaga 2020). Однако, определенная часть детей с мобильным плоскостопием предъявляет жалобы на боли в стопах (O. El et al. 2006). Существуют биомеханические исследования, показывающие различные функциональные нарушения у детей с мобильным плоскостопием, определяющие наличие жалоб и ограничений в повседневной жизни (H. Böhm et al. 2019). Плоскостопие с укорочением ахиллова сухожилия разные авторы относят как к мобильным, так и

к ригидным формам (Шабалдин Н.А. и др. 2020; R. Harris, T. Beath 1948; V. Mosca 2010).

В литературе имеется большое количество публикаций, посвященных хирургическому лечению детей с плоскостопием, однако, показания к проведению оперативных вмешательств варьируемы. Из всех методов хирургической стабилизации при лечении детей с плоскостопием чаще всего используются различные варианты артроэреза подтаранного сустава и остеотомии пяточной кости (M. De Pellegrin, D. Moharamzadeh 2021; M. Vergillos Luna et al. 2023). Показания к проведению каждого типа хирургического лечения являются схожими и выбор осуществляется на основании личных предпочтений хирурга. При этом, часть литературных источников демонстрируют хорошие результаты артроэреза подтаранного сустава, другая часть – показывает высокую частоту осложнений после данного вмешательства. Несмотря на большое количество публикаций, посвященных выполнению артроэреза подтаранного сустава, данные, определяющие выбор метода артроэреза, а также оптимальный вариант размещения импланта не систематизированы и разрознены (P. Fernández de Retana, F. Álvarez, R. Viladot 2010; P. Highlander, W. Sung, L. Weil 2011; C. A. Ortiz, E. Wagner, P. Wagner 2018). При анализе публикаций, посвященных выполнению различных вариантов остеотомий пяточной кости, нет четких критериев выбора вида остеотомии, уровня остеотомии пяточной кости, а также вариантов комбинации различных остеотомий (B. DeYoe, J. Wood 2005; J. Brilhault 2022). Вместе с тем, многие авторы отмечают, что точное определение уровня остеотомии и корректное сопоставление костных фрагментов являются важными элементами хирургического лечения (Беленький И.Г. и др. 2025). Наличие фрагментарных данных, освещающих биомеханические особенности выбора метода стабилизации (артроэрез или остеотомия), а также определения величины коррекции деформации стопы не позволяют эффективно использовать все имеющиеся методики, направленные на стабилизацию суставов предплюсны.

С учетом имеющихся проблем в отношении диагностики плоскостопия в детском возрасте, а также определения показаний к хирургическому лечению и

выбора метода хирургической стабилизации были обозначены цель и задачи настоящего исследования.

Цель исследования

Разработать систему дифференцированного хирургического лечения детей с ригидными формами плоскостопия на основании анализа анатомо-функциональных и патогенетических особенностей, а также оценки результатов лечения, ошибок и осложнений.

Задачи исследования

1. Изучить анатомические особенности и определить частотные характеристики разных клинических проявлений плоскостопия у детей.
2. Определить критерии оценки функционального статуса стоп у детей с плоскостопием, характеризующие наличие локомоторных нарушений.
3. Усовершенствовать классификацию плоскостопия у детей с учетом анатомо-функциональных параметров стоп, позволяющую обосновать необходимость хирургического лечения.
4. Разработать способы выполнения резекционных вмешательств у детей с тарзальными коалициями, позволяющие снизить частоту неудовлетворительных результатов.
5. Проанализировать неудовлетворительные результаты лечения, ошибки и осложнения при хирургическом лечении детей с ригидным плоскостопием и определить способы их профилактики.
6. Обосновать дифференцированный выбор метода хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием.

Научная новизна исследования

1. Разработаны новые клинические тесты, позволяющие оценить мобильность суставов предплюсны, на основании которых можно предположить наличие тарзальных коалиций, определить укорочение трехглавой мышцы голени,

а также оценить функциональный статус стопы (патенты РФ на изобретения №2606336, 10.01.2017; №2669863, 16.10.2018; №2788104, 16.01.2023).

2. Разработаны новые рентгенометрические критерии положения подтаранного сустава, на основании которых можно определить степень эверзионного положения подтаранного сустава при плоскостопии, а также оценить влияние различных методов стабилизации при плоскостопии на коррекцию эверзионного положения подтаранного сустава как основу коррекции деформации стопы (патенты РФ на изобретения №2801607, 11.08.2023; №2806739, 03.11.2023).
3. Изучены механизмы стабилизации суставов предплюсны при помощи разных видов артроэреза подтаранного сустава, определены возможные ошибки и осложнения при использовании имплантов и блокирующих винтов, определен оптимальный метод артроэреза подтаранного сустава.
4. Выявлены корригирующие механизмы, характеризующие разные виды удлиняющих остеотомий пяточной кости, определяющие различные показания к остеотомии по Evans и по Hintermann.
5. Установлено оптимальное положение подтаранного сустава и таранной кости после коррекции деформации стопы для минимизации явлений переднего импинджмента голеностопного сустава и профилактики дегенеративных изменений в передних отделах голеностопного сустава.
6. На основании анализа отдаленных результатов хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием составлен алгоритм, в котором определены методы стабилизации подтаранного сустава, а также критерии, позволяющие осуществить выбор между артроэрезом подтаранного сустава, различными вариантами остеотомий пяточной кости и артродезирующими вмешательствами, базирующиеся на детальной оценке мобильности подтаранного сустава и сустава Шопара.

Практическая значимость исследования

1. Разработанная система классификации плоскостопия у детей предоставляет возможность определить показания к хирургическому лечению на основании наличия функциональных ограничений и снизить количество необоснованных оперативных вмешательств.
2. Использование теста «вставания на цыпочки на одной ноге» позволяет с высокой долей вероятности предположить положение заднего отдела стопы перед осуществлением пропульсии, тем самым выявить функциональные ограничения.
3. Оценка тыльного сгибания стопы с пассивным разгибанием I пальца способствует стабилизации суставов предплюсны и исключает периталлярное движение для определения истинной величины тыльного сгибания стопы, что в свою очередь повышает точность выявления ретракции трехглавой мышцы голени.
4. Определение уровня медиальной фасетки подтаранного сустава, а также выполнение двойного сечения ладьевидной кости с иссечением клина с основанием, обращенным к подошве, позволяет минимизировать осложнения при выполнении резекции пяточно-ладьевидных коалиций.
5. Определение уровня sustentaculum tali на передне-задней рентгенограмме стопы способствует точному определению уровня остеотомии при выполнении операции Evans и повышению потенциала коррекции деформации стопы.
6. Регулирование степени коррекции деформации стопы до 30% таранно-пяточного соотношения снижает вероятность развития переднего импинджмента и дегенеративных изменений в передних отделах голеностопного сустава.

Методология и методы исследования

Настоящее диссертационное исследование основано на анализе результатов диагностики плоскостопия у пациентов детского возраста и лечения хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием. В исследование вошли

результаты обследования и лечения 641 пациента, из них с разными формами плоскостопия было 506 детей. Исследование состояло из двух частей. Первая часть посвящена диагностике плоскостопия у детей, а также оценке естественного развития стоп по мере роста ребенка. Вторая часть заключалась в проведении хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием различными методиками и анализе полученных результатов для обоснования дифференцированного подхода в выборе тактики хирургического лечения.

Для оценки частоты встречаемости плоскостопия было проведено кросс-секционное исследование школьников (N=220), при котором оценивались клинические, плантографические, функциональные, ультрасонографические и электрофизиологические показатели. Также был проведен анализ жалоб с использованием валидированного Оксфордского опросника состояния стопы и голеностопного сустава для детей (OxAFQ-C). Ввиду отсутствия единых критериев определения плоскостопия при обследовании были использованы основные клинические параметры, характеризующие уплощение стопы (подометрический индекс Фридланда и клинический угол свода – угол Dahle), величину вальгуса заднего отдела стопы, а также оценку величины тыльного сгибания стопы. При оценке частоты встречаемости плоскостопия в детском возрасте был проведен анализ встречаемости исследуемых клинических параметров как в изолированном виде, так и в различных вариантах сочетания. Полученные данные позволили решить первую задачу исследования.

Для оценки функционального статуса стопы был разработан клинический тест, заключающийся в моделировании положения стопы в одноопорную фазу шага, и позволяющий оценить возможность блокирования суставов предплюсны. На основании сопоставления результатов нового теста, биомеханических параметров походки и анатомических критериев стоп были получены данные о возможности экстраполирования результатов теста для определения функциональных нарушений у детей с плоскостопием. Анализ полученных данных обосновал решение второй задачи диссертационного исследования.

Полученные анатомо-функциональные параметры стоп у детей с мобильным плоскостопием ($n=337$), то есть с нормальной мобильностью подтаранного сустава, были проанализированы на наличие подгрупп в их структуре путем проведения кластерного анализа методом k -средних, а также графического анализа (гар-статистика и Inertia («метод локтя»). Проведенный анализ обосновал разделение пациентов с мобильным плоскостопием на две подгруппы. Таким образом, была сформирована классификация плоскостопия, выделяющая мобильные формы, анатомически ригидные формы и функционально ригидные формы. Данные кластерного анализа, а также результаты оценки анатомо-функциональных параметров легли в основу решения третьей задачи.

Для снижения вероятности повреждения костей предплюсны при резекции тарзальных коалиций, а также профилактики неполной резекции коалиций были разработаны и оценены новые способы резекции пяточно-ладьевидных и таранно-пяточных коалиций. Оценка результатов хирургического лечения детей с тарзальными коалициями при использовании предложенных способов позволила решить четвертую задачу исследования.

Анализ отдаленных результатов, ошибок и осложнений при хирургическом лечении детей с ригидным плоскостопием позволил выбрать оптимальный возраст для проведения хирургического лечения и обосновать величину необходимой коррекции деформации стопы для предотвращения переднего импинджмента голеностопного сустава и последующих дегенеративных изменений. Различное влияние двух вариантов удлиняющих остеотомий пяточной кости позволил осуществить выбор типа удлиняющей остеотомии пяточной кости и обосновать выполнение двойной остеотомии пяточной кости. Анализ частоты переломов блокирующих винтов и периимплатного лизиса позволил выбрать оптимальный вариант расположения винта для минимизации послеоперационных осложнений. Полученные результаты послужили основой для решения пятой задачи.

Для решения шестой задачи исследования были проанализированы результаты хирургического лечения детей с анатомически и функционально ригидным плоскостопием. Лечение детей с анатомически ригидным

плоскостопием заключалось в резекции тарзальных коалиций и добавочных фасеток подтаранного сустава (n=158). Для лечения детей с функционально ригидным плоскостопием использовались различные варианты артроэреза подтаранного сустава: подтаранные импланты (n=67), блокирующие винты в пяточную кость (n=53) и в таранную кость (n=103); остеотомии пяточной кости: удлиняющая остеотомия по Evans (n=46) и по Hintermann (n=41); а также артродезирующие вмешательства (n=18). Оценка полученных результатов и использование новых разработанных клинических тестов для оценки мобильности суставов предплюсны позволили разработать алгоритм дифференцированного выбора метода стабилизации суставов предплюсны при лечении детей с ригидным плоскостопием.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Клиническая диагностика плоскостопия у детей базируется на оценке пропульсивной функции стопы, которая обусловлена возможностью стабилизации/блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага и определяет величину функциональных нарушений.
2. Использование системы анатомо-функциональной классификации плоскостопия, основанной на детальной оценке мобильности суставов предплюсны, а также клинической оценке возможности блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага и выделяющей мобильные, анатомически ригидные и функционально ригидные формы позволяет отделять патологические виды плоскостопия от физиологических и определять показания к хирургическому лечению.
3. Выбор метода стабилизации суставов предплюсны при хирургическом лечении детей с ригидным плоскостопием зависит от мобильности суставов предплюсны: при хорошей мобильности подтаранного сустава выполняется артроэрез подтаранного сустава винтом в таранную кость, при удовлетворительной мобильности подтаранного сустава – остеотомия пяточной кости по Hintermann, при сниженной мобильности подтаранного

- сустава и удовлетворительной мобильности сустава Шопара - остеотомия пяточной кости по Evans, при сниженной мобильности суставов предплюсны и выраженных дегенеративных изменениях - артродезирующие вмешательства.
4. Удлиняющая остеотомия пяточной кости по Evans фиксирует подтаранный сустав в крайнем положении эверзии, что обуславливает необходимость выполнения двойной остеотомии пяточной кости – сочетание остеотомии Evans с медиализирующей остеотомией бугра пяточной кости.
 5. Оптимальным видом артроэреза подтаранного сустава является артрорез с использованием блокирующего винта в таранную кость, который позволяет эффективно корректировать деформацию стопы, а также регулировать величину необходимой коррекции.
 6. Избыточная коррекция деформации стопы (таранно-большеберцовый угол более 70° и таранно-пяточное соотношение менее 30%) приводит к явлениям переднего импинджмента голеностопного сустава и может обуславливать в дальнейшем дегенеративные изменения в переднем отделе голеностопного сустава.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Содержание и выводы диссертации полностью соответствуют паспорту научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия.

Личный вклад автора

Настоящее диссертационное исследование является самостоятельным трудом, основанным на личном опыте обследования и анализа полученных анатомо-функциональных данных детей с плоскостопием, оценки результатов хирургического лечения пациентов с разными формами плоскостопия. Автором самостоятельно проведен аналитический обзор литературы по теме диссертационного исследования и определены актуальные вопросы настоящего исследования. Автором самостоятельно осуществлен сбор материала, проведен анализ полученных анатомо-функциональных показателей пациентов с ригидным

плоскостопием и оценены результаты хирургического лечения детей с разными формами плоскостопия, сформирована база данных пациентов, на основании которой проведена статистическая обработка полученных данных методами описательного и сравнительного анализа, анализа связей прогностического моделирования и поиска закономерностей. На основании оценки полученных результатов проведенных исследований сформулированы выводы и практические рекомендации, написаны все главы диссертационного исследования и его автореферат.

Апробация диссертационной работы

Материалы диссертационного исследования доложены на отечественных и зарубежных научно-практических конференциях: ежегодная научно-практическая конференция с международным участием «Вреденовские чтения» (Санкт-Петербург, 2018, 2021, 2023, 2024), ежегодная научно-практическая конференция с международным участием, посвященная актуальным вопросам травматологии и ортопедии детского возраста «Турнеровские чтения» (Санкт-Петербург, 2021, 2023, 2024, 2025), межрегиональная научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные вопросы эндопротезирования крупных суставов» (Чебоксары, 2017, 2024), конгресс The European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology (EFORT) (Вена, 2017), конгресс European Pediatric Orthopaedic Society (EPOS) (Осло, 2018, Копенгаген, 2022), SICOT Orthopaedic World Congress (Белград, 2024), 12th International Congress for Joint, Reconstruction, Middle East (Дубай, 2025), European Society for Movement Analysis in Adults and Children (ESMAC) (Амстердам, 2019), конгресс Российской Ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава (RUSFAS) (Санкт-Петербург, 2019, Москва, 2017, 2023), Межрегиональная научно-практическая конференция с международным участием «Инновационные технологии в травматологии и ортопедии» (Хабаровск, 2019), Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Цивьяновские

чтения» (Новосибирск, 2019), научно-практическая конференция «Ярославская весна» (Ярославль, 2024, 2025).

По теме диссертационного исследования опубликовано 28 научных работ, из них 16 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикаций результатов диссертационных исследований, 1 статья в профильном зарубежном журнале, индексируемом в наукометрической базе Scopus, получено 11 патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Реализация результатов исследования

Результаты диссертационного исследования внедрены в клиническую работу клиники патологии стопы, нейроортопедии, системных заболеваний ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург; детского травматолого-ортопедического отделения ГБУЗ Ярославской области «Областная детская клиническая больница», г. Ярославль.

Материалы диссертационного исследования используются при чтении лекций и проведении семинаров для специалистов, проходящих усовершенствование по программе дополнительного профессионального образования, ординаторам и аспирантам кафедры детской травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России и учебного отдела ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

Объем и структура диссертации

Диссертационное исследование изложено на 370 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, описания дизайна исследования, семи глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, приложения и списка литературы, включающего 210 работ, из них 35 отечественных, 175 зарубежных авторов. Диссертационная работа содержит 249 рисунков и 67 таблиц.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПАТОГЕНЕЗА И ДИАГНОСТИКИ РИГИДНОГО ПЛОСКОСТОПИЯ У ДЕТЕЙ, ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЛЕЧЕНИЯ

1.1 Терминология и частота встречаемости плоскостопия в детском возрасте

Плоскостопие – это одно из самых частых состояний, встречающихся в детском возрасте. Развитие сводов стопы наиболее интенсивно происходит в первые 10 лет жизни. Встречаемость плоскостопия у детей дошкольного возраста по данным различных авторов составляет от 21 до 97% [12, 43, 136, 147, 171, 200, 201]. Однако, истинная частота плоскостопия не известна, в связи с тем, что форма стопы меняется с возрастом, зависит от пола, веса, гипермобильности суставов, расы и наследственности [11, 29, 147, 180]. В первые 10 лет жизни происходит увеличение свода стопы без каких-либо лечебных воздействий [19, 134, 171, 180, 182]. В своей работе по исследованию 242 детей с мобильным плоскостопием С. Bosh отметила, что плоскостопие самостоятельно исправляется по мере роста и говорить о диагнозе «плоскостопие» можно не ранее 5-6 лет [69]. С возрастом частота встречаемости плоскостопия снижается, однако, в некоторых случаях самопроизвольная коррекция деформации стопы не происходит, и у детей могут появляться жалобы на боли в стопах и ограничение физической активности [13, 17, 18, 20, 23, 24, 32, 146, 160]. Кроме того, даже у детей с физиологическим плоскостопием показатели физической активности обратно пропорциональны степени снижения свода стопы [28, 33, 180]. Термин «плоскостопие» характеризует данное состояние как уплощение свода стопы. Сложности в терминологии заключаются в том, что деформация стопы характеризуется изменениями во всех трех плоскостях, а снижение высоты свода характеризует лишь одну плоскость [7, 31, 64]. В связи с этим, оценка формы стопы при использовании разных критериев может существенно различаться, а показатели популяционных исследований

используют различные методы оценки формы стопы [10, 26, 44, 64]. Исходя из этого, понятие нормы в отношении формы детской стопы достаточно расплывчато. Несмотря на это, большая часть детей и около 20% взрослого населения имеют плоскостопие, при этом, большинство случаев – это асимптоматическое состояние [4, 147]. Вместе с тем на патологические формы плоскостопия приходится от 1 до 20% от всех форм плоскостопия [3, 6, 61].

1.2 Классификация

Системы классификации плоскостопия основаны на ряде параметров: форме стопы, наличии болевого синдрома, а также мобильности. Основная цель разделения разных форм плоскостопия – это выделение патологических его форм, которые обуславливают нарушение функции стопы. Разделение плоскостопия в зависимости от выраженности деформации стопы предполагает связь между функцией стопы и ее формой. Однако, эта взаимосвязь слабо прослеживается. Кроме того, разные методы клинической оценки формы стопы по-разному определяют степень деформации. Исходя из этого, единый консенсус оценки формы стопы отсутствует [178].

В общей сложности около 40 методов оценки формы стопы используются в разных источниках литературы. Основные методы определения формы стопы разделяются на: визуальную оценку, антропометрию, плантографию и рентгенографию. Разделение форм плоскостопия на основании клинической оценки является одним из самых распространенных методов [68]. Даже когда при клинической оценке используются общепринятые и унифицированные критерии, некоторые авторы сообщают о хорошей воспроизводимости этих критериев между разными исследователями, некоторые – о плохой [72, 76].

Для улучшения методов клинической оценки формы стопы был разработан метод балльной оценки формы стопы, который состоит из 6 критериев – индекс положения стопы (FPI-6) [179]. Несмотря на высокие показатели воспроизводимости балльной оценки в рамках FPI-6, основные недостатки этого

метода также заключаются в том, что эта оценка является субъективной и не всегда соответствует реальной форме стопы [87, 143].

Плантография широко применяется в клинической практике для оценки формы стопы и ее данные часто используются в популяционных исследованиях [78, 82, 83]. Для описания уплощения стопы используется множество параметров и индексов: индекс свода, угол свода, индексы Staheli, Chippaux-Smirak, Rose и другие.

Для оценки степени деформации стопы также широко используется рентгенография, которая выполняется в передне-задней и латеральной проекции в положении пациента стоя. Учитывая определенные сложности при выполнении рентгенографии, этот метод реже используется в популяционных исследованиях. Также, имеются сведения о низкой взаимосвязи между рентгенометрическими критериями плоскостопия и наличием симптомов [94, 100, 146].

При проведении кросс-секционных исследований выявлено, что наличие плоскостопия может быть связано с низким качеством жизни. Чаще всего к этому приводит наличие болевого синдрома у пациента [174]. Также отмечается, что увеличение степени абдукции переднего отдела стопы коррелирует с частотой болевого синдрома при плоскостопии [125]. Вместе с тем, имеются некоторые различия в кинематике голеностопного и подтаранного сустава, заключающиеся в ограничении тыльного сгибания стопы при ходьбе и увеличении супинации и абдукции переднего отдела стопы у детей с мобильным плоскостопием и без него. Однако, значимые различия в биомеханике у детей с симптоматическим и асимптоматическим плоскостопием не всегда выявляются [110]. Боль в стопе у ребенка с плоскостопием может быть связана с многими причинами. Это могут быть особенности анатомии стопы – тарзальные коалиции и другие аномалии развития [117, 119, 151]. Кроме того, болевой синдром при плоскостопии может быть не связан с формой стопы напрямую, а может быть обусловлен синдромом гипермобильности и низким порогом болевой чувствительности [4]. Большинство авторов согласны с тем, что мобильное бессимптомное плоскостопие не требует лечения, имеет низкий риск перехода в симптоматическую форму и нет

необходимости в проведении профилактических мероприятий [58]. Наконец, мобильные симптоматические формы плоскостопия чаще всего требуют лишь консервативного лечения, заключающегося в модификации нагрузок, использовании ортопедических изделий (ортопедическая обувь, стельки), а также нестероидных противовоспалительных препаратов [58, 102, 160].

Наиболее приближенной к функциональному статусу стопы является классификация, разделяющая плоскостопие на мобильные и ригидные формы [53, 68, 102, 138, 147, 180]. При этом, большинство авторов отмечают, что мобильное плоскостопие от ригидного в первую очередь отличается тем, что при нормальной мобильности свод стопы появляется без нагрузки на конечность, а при ригидном плоскостопии сохраняется деформация стопы без осевой нагрузки [43, 102, 133, 138, 160]. Также для оценки мобильности предложен целый ряд клинических тестов: тест «вставания на цыпочки», тест Jack, оценка пассивной инверзии и эверзии стопы [92, 105, 147]. Вместе с тем, нет единого мнения, какие именно формы плоскостопия относятся к мобильным, а какие - к ригидным. Чаще всего к ригидным формам относят формы плоскостопия на фоне аномалий развития костей предплюсны – тарзальных коалиций [37, 61, 117]. С другой стороны, отдельно выделяется форма плоскостопия – «гипермобильное плоскостопие с укорочением ахиллова сухожилия» [106, 147, 148, 176]. Некоторые авторы относят эту форму плоскостопия к мобильным формам, некоторые – к ригидным [34, 147]. Плоскостопие, сочетающееся с укорочением ахиллова сухожилия, с течением времени может прогрессировать и приводить к развитию болевого синдрома [105]. Вместе с тем, чаще всего мобильное плоскостопие от ригидного отличают исходя из мобильности подтаранного сустава [102, 122, 147, 148]. Помимо этого, многие исследователи отмечают, что ригидные формы плоскостопия чаще всего обуславливают нарушение биомеханики стопы и всей нижней конечности, что приводит к нарушению походки и запуску вторичных компенсаторных механизмов [50, 96].

1.3 Этиология и эпидемиология

Существуют две основные теории, объясняющие развитие мобильных форм плоскостопия. Первая теория была предложена G.B. Duchenne [81]. Автор предполагал, что скоординированная работа мышц обуславливает высоту свода стопы, а субклиническая мышечная слабость (парез) является основной причиной коллапса свода стопы. В противовес этой теории выступает теория, предложенная J.V. Basmajian, который проводил электрофизиологические исследования мышц стоп и голеней и показал, что основными стабилизаторами, отвечающими за высоту свода, являются костные и связочные структуры, а мышцы необходимы для осуществления баланса, адаптации стопы к неровной поверхности и снижения стрессовых нагрузок [45, 98]. Сторонники этой теории предполагают, что форма стопы под нагрузкой обусловлена формой и взаимным расположением костей стопы, удерживаемых множеством связочных структур [16, 105, 107, 108, 176]. Достоверно неизвестно, что является первопричиной изменения формы костей при плоскостопии, но большинство авторов придерживаются мнения, что основной причиной развития деформации стопы является гипермобильность связок. С другой стороны, существует несколько теорий развития ригидных форм плоскостопия. В первую очередь это касается тарзальных коалиций. Первая – теория LeBoucq, по которой предполагается, что развитие тарзальных коалиций обусловлено нарушением дифференцировки и сегментации эмбриональных мезенхимальных клеток в первом триместре беременности [61, 189]. Другая – теория Pfitzner, по которой он предполагал, что тарзальные коалиции возникают из-за слияния костей среднего и заднего отделов стопы с добавочными костями предплюсны [151]. В своей работе В. Harris показала серию секционного материала – таранно-пяточных коалиций у эмбрионов, которые часто встречаются на ранних сроках эмбриогенеза, а на поздних отсутствуют. Однако, это не позволяет полностью опровергнуть теорию Pfitzner, поскольку имеются публикации, описывающие добавочные кости предплюсны, мимикрирующие тарзальные коалиции [59, 63]. При «гипермобильном плоскостопии с укорочением ахиллова сухожилия» вероятнее всего первопричиной деформации стопы является

укорочение трехглавой мышцы голени. Это предположение подтверждается тем, что имеются работы, показывающие вторичную ретракцию этой мышцы вследствие ее слабости (пареза) [103]. Кроме того, ряд биомеханических исследований, которые заключались в моделировании укорочения ахиллова сухожилия, показали вторичное развитие коллапса свода [2, 49, 79]. С другой стороны, некоторые авторы склоняются к тому, что укорочение трехглавой мышцы в целом или икроножной в частности может быть следствием уплощения свода стопы [80]. Вместе с тем, большинство авторов признают, что укорочение ахиллова сухожилия и плоскостопие – часто связанные факторы.

1.4 Диагностика плоскостопия у детей

Первичная оценка стопы основывается на клинической оценке ее формы. При диагностике плоскостопия во время клинического осмотра основное внимание уделяется степени уплощения свода стопы и величине вальгуса заднего отдела стопы. Степень уплощения свода стопы измеряется разными методиками, наиболее популярные из них – это оценка высоты положения ладьевидной кости и определение клинического угла свода [21, 76]. Оценка положения ладьевидной кости является одним из самых чувствительных к изменению вальгуса заднего отдела критериев [113]. Величина вальгуса заднего отдела стопы, как и свода, сильно варьирует в зависимости от возраста ребенка. В среднем, вальгус заднего отдела стопы до 10° считается нормой в детском возрасте [180, 190]. При этом, имеется высокая воспроизводимость данного параметра, которая не превышает $5\text{--}6^\circ$ у разных исследователей [188]. В настоящее время в популяционных исследованиях широко используется индекс оценки положения стопы (FPI-6). Он показал хорошую воспроизводимость между разными исследователями, однако, как и другие критерии оценки формы стопы, является субъективным и не позволяет оценить функцию стопы [87, 143]. Кроме того, есть исследования, показывающие проблемы с воспроизводимостью основных пунктов этого индекса [196].

В семидесятых годах в книге «Normal and Abnormal Function of the Foot» M.L. Root с соавторами определили критерии «идеальной структуры стопы и нижней конечности». Для стопы эти критерии были следующими: ось пяточной кости при оценке сзади должна быть на линии или параллельна оси голени, плоскость пяти плюсневых костей должна быть перпендикулярна плоскости пяточной кости [144]. Стоит отметить, что очень небольшое количество детей и взрослых подходят под эти критерии. Позднее R. Caillet добавил в критерии нормальности стопы следующее: должен отсутствовать болевой синдром, должен быть нормальный мышечный баланс, ровное положение заднего отдела стопы и прямые, мобильные пальцы [175]. Многие авторы придерживаются мнения, что даже при нормальной форме стопы может быть нарушена ее функция. Кроме того, предположить выраженность функциональных ограничений по анализу формы стопы практически невозможно. Многие приходят к выводу, что поиск нормативных критериев по отношению к форме стопы является ошибочной концепцией, потому как понятие нормы может сильно варьировать в популяции. [60, 130].

Несмотря на то, что разработано большое количество методов оценки формы стопы, имеются большие сложности с определением нормативных показателей, характеризующих форму стопы. Обзор имеющихся методов показал, что в настоящее время отсутствует единый консенсус в отношении того, какую стопу считать плоской [178]. В современных исследованиях, посвящённых изучению плоскостопия, используется более 40 различных методик оценки, что делает сложным сравнение их результатов между собой. Также многие авторы отмечают, что диагностика плоскостопия должна в первую очередь базироваться на оценке функции стопы, а измерение высоты свода стопы и вальгуса заднего отдела в положении стоя не всегда отражает степень функциональных нарушений [22, 60, 154]. При оценке рентгенометрических критериев, наряду с клиническими, также имеются определенные сложности в определении нормы и связи с функцией стопы и наличием жалоб [8, 116]. L. Moraleda и S. Mubarak в своей работе отметили, что единственный параметр, имеющий корреляционные связи с наличием жалоб – это

угол латерального смещения ладьевидной кости [141, 146]. Рентгенография стопы играет важную роль в поиске причин ригидного плоскостопия – аномалий развития костей предплюсны. Стоит отметить, что большинство рентгенографических признаков тарзальных коалиций являются косвенными, то есть, позволяют заподозрить аномалию развития, а окончательный диагноз устанавливается по данным КТ. Из косвенных признаков тарзальных коалиций, характеризующихся высокими показателями чувствительности и специфичности, можно выделить симптом «носа муравьеда» и симптом «нимба» [74, 151].

Исходя из различий в оценке формы стопы и ее вариабельности, важным элементом диагностики плоскостопия является оценка мобильности суставов предплюсны. Помимо изменения формы стопы под нагрузкой, оценка мобильности стопы является ключевым инструментом выявления ригидных форм плоскостопия [95]. Для оценки мобильности стопы используются различные клинические тесты: тест «вставания на цыпочки», тест Jack и оценка пассивной инверзии и эверзии стопы. Наибольшей диагностической значимостью обладает тест оценки пассивной инверзии и эверзии стопы [88]. С другой стороны, имеются данные о плохой воспроизводимости оценки движений в подтаранном суставе разными исследователями [84]. Также важным элементом клинической диагностики плоскостопия является определение величины тыльного сгибания стопы. Ограничение тыльного сгибания стопы менее 10° свидетельствует об укорочении ахиллова сухожилия [147]. При этом, если величина тыльного сгибания стопы при полном разгибании коленного сустава уменьшается, это свидетельствует о преимущественной ретракции икроножной мышцы, если величина тыльного сгибания не меняется в зависимости от положения коленного сустава, укорочена как икроножная, так и камбаловидная мышца (тест Silfverskiöld) [77]. Важной особенностью оценки величины тыльного сгибания стопы является удержание подтаранного сустава в нейтральном положении, поскольку эверзионное положение подтаранного сустава увеличивает тыльное сгибание стопы и не позволяет оценить степень укорочения ахиллова сухожилия [147].

1.5 Нарушение функции при плоскостопии у детей

Для достижения критериев «нормальности» M.L. Root с соавторами отметили, что подтаранный сустав в положении стоя должен быть в нейтральном положении, а среднетарзальные суставы заблокированы [144]. Однако, как показывают многие работы, в положении стоя подтаранный сустав находится в промежуточном состоянии между нейтральным положением и положением максимальной пронации [127, 128, 208]. В норме при ходьбе с начала контакта до середины опорной фазы подтаранный сустав находится в положении эверзии – это необходимо для трансформации вертикального момента силы при контакте с опорной поверхностью в ротационный момент движений в подтаранном суставе [129]. С середины опорной фазы происходит наружная ротация опорной конечности и подтаранный сустав занимает эверзионное положение, а среднетарзальные суставы блокируются. По мере элевации заднего отдела стопы усиливается инверзионное положение подтаранного сустава, к которому приводит сокращение икроножной и камбаловидной мышц. Это необходимо для формирования стопой ригидного рычага для эффективного осуществления пропульсии [114]. Возникновение эверзии подтаранного сустава после середины и в терминальной стадии одноопорной фазы ведет к перенапряжению мышц, обуславливающих супинационный момент силы для противодействия тыльному сгибанию стопы под воздействием массы тела [114, 129]. Исходя из этого, изменения в задней большеберцовой мышце, а также связочных структурах представляются вторичными. Помимо этого, имеются работы, показывающие, что первостепенная роль в поддержании свода стопы принадлежит подошвенному апоневрозу [108, 112]. При рассечении подошвенного апоневроза, увеличивается напряжение пяточно-ладьевидной связки (spring ligament) на 52% и длинной связки стопы на 94% [73]. Учитывая то, что в настоящее время чаще встречаются публикации, где указывается, что основная роль в поддержании свода принадлежит пассивным стабилизаторам, влияние на свод задней большеберцовой мышцы, длинных сгибателей пальцев и длинной малоберцовой мышцы имеет второстепенное значение [198]. Нарушения функции стопы при плоскостопии

задокументированы многими исследованиями. К примеру, Н. Kim с соавторами выявили неэффективность момента силы и механической мощности на 30-45% при симптоматическом плоскостопии [126]. Нарушение большинства биомеханических параметров при плоскостопии отмечается в конце опорной фазы шага, что подтверждает основное влияние уплощения стопы на осуществление пропульсии. Кроме того, отмечается связь между рентгенометрическими критериями и степенью выраженности изменений силы реакции опоры в конце одноопорной фазы шага [164]. Сокращение трехглавой мышцы голени с середины опорной фазы ограничивает усиливающееся тыльное сгибание стопы, возникающее от воздействия массы тела, а в дальнейшем - осуществляет пропульсию. Для эффективного осуществления пропульсии среднетарзальные суставы должны быть в заблокированном положении, а подтаранный сустав в положении инверзии. При отсутствии блокирования суставов предплюсны при осуществлении пропульсии, сокращение трехглавой мышцы голени приводит к усилению коллапса стопы [176, 198].

У пациентов с ригидным плоскостопием подтаранный сустав не занимает инверзионное положение в конце одноопорной фазы шага и это приводит к биомеханическим нарушениям [61]. С другой стороны, у части пациентов с мобильным плоскостопием также отмечаются указанные нарушения [51, 99, 110]. Однако, остаётся открытым вопрос – почему у некоторых детей с мобильным плоскостопием возникает нарушение нормальных биомеханических процессов при ходьбе, а у некоторых - нет [20, 97].

1.6 Хирургическое лечение детей с ригидным плоскостопием

Во многих источниках литературы указывается, что мобильное бессимптомное плоскостопие не требует лечения [30, 39, 102, 147, 167]. Также имеются данные о низкой эффективности консервативного лечения, направленного на улучшение формы стопы [14, 58, 89]. Традиционно, показания к хирургическому лечению плоскостопия основаны на жалобах пациента и на отсутствии эффективности консервативного лечения [124]. Основной контингент пациентов с

плоскостопием, которым необходимо хирургическое лечение, это пациенты с тарзальными коалициями и плоскостопием в сочетании с укорочением ахиллова сухожилия [124, 138]. Хирургические вмешательства при плоскостопии можно разделить на четыре группы: остеотомии, вмешательства на мягких тканях стопы, артрорез подтаранного сустава и артродезирующие вмешательства [42, 124, 138].

1.6.1 Операции, направленные на устранение анатомических причин ригидности

J. Murphy и S. Mubarak в своих работах отмечают, что все таранно-пяточные коалиции должны быть резецированы, если только они не являются очень протяжёнными или это не сочетание двух коалиций [153, 161]. Показанием для резекции таранно-пяточных коалиций служит вовлеченность в зону конкресценции менее 50% задней фасетки, а также отсутствие выраженных дегенеративных изменений подтаранного сустава. При этом, резекция может быть выполнена как открыто, так и эндоскопически [52, 209]. При резекции пяточно-ладьевидных коалиции рекомендуется оставлять расстояние между резецированными костями не менее 10 мм для предотвращения рецидива, а для резекции таранно-пяточных коалиций – 5-6 мм [9, 197]. В качестве интерпозиционного материала используется костный воск, широкая фасция бедра, аутогенная подкожно-жировая клетчатка и короткий разгибатель пальцев [93]. Для предотвращения неполной резекции, а также повреждения важных анатомических структур рекомендовано использовать интраоперационную навигацию: С- и О-дугу, КТ, оптическую навигацию, а также создание персонализированных шаблонов [207]. При наличии значимой плано-вальгусной деформации стопы, резекция коалиции может сочетаться с реконструкцией стопы [149, 150]. В случае наличия добавочной передне-латеральной фасетки подтаранного сустава выполняется резекция латерального отростка таранной кости для увеличения мобильности подтаранного сустава [159]. При наличии у пациента спастической перонеальной стопы, резекция латерального отростка в изолированном виде может быть выполнена при коррекции перонеального спазма после инъекции местного анестетика в зону добавочной фасетки или под общей анестезией [156].

1.6.2 Артрорез подтаранного сустава

Артрорез подтаранного сустава приводит к блокированию избыточной эверзии на уровне подтаранного сустава, тем самым стабилизирует стопу и корригирует деформацию [162]. Н. Vogler на основании биомеханической роли разделил все импланты на три категории: самоблокирующиеся импланты, импактируемые импланты и меняющие ось движения импланты [101, 183]. Из всех типов имплантов в клинической практике чаще всего используются первые два типа. Большинство подтаранных имплантов представляют из себя спейсеры, помещаемые в тарзальный синус. Отличной от остальных вариантов подтаранного артрореза является методика «calcaneo-stop», предложенная R. Alvarez в 1970-х годах. Суть этой методики заключается в имплантации винта в пяточную кость. Позднее E. Castaman изменил методику R. Alvarez и предложил имплантировать винт в таранную кость [168]. Основным условием выполнения артрореза подтаранного сустава является мобильность подтаранного сустава, которая обуславливает коррекцию деформации. Имеется множество исследований, которые показывают эффективность артрореза подтаранного сустава как в отношении коррекции деформации стопы, так и в отношении уменьшения болевого синдрома по сравнению с дооперационным периодом [1, 158, 170, 183, 194]. Многие авторы объясняют приверженность методикам артрореза подтаранного сустава простотой выполнения, малой травматичностью, а также отсутствием необходимости в длительной иммобилизации по сравнению с остеотомиями [46, 67, 137]. Возраст, рекомендуемый для выполнения артрореза подтаранного сустава, в разных публикациях, варьирует. Имеется одно сравнительное исследование, показывающее, что оптимальный возраст для выполнения артрореза подтаранного сустава винтом 9-12 лет [132]. Вместе с тем, артрорез подтаранного сустава характеризуется достаточно высокой частотой осложнений, которая достигает 30-40% [158]. Так, R. Needelman отметил, что боль в области тарзального синуса и перонеальный спазм встречались в 46% случаев после установки подтаранных имплантов, что в 39% случаев потребовало удаление импланта [155]. P.R. Black отмечал боль в области тарзального синуса

у 73% пациентов при использовании импланта Viladot, что потребовало его удаления у 36% пациентов, при этом боль после удаления уменьшилась незначительно [48]. С другой стороны, боли в области тарзального синуса при использовании методики «Calcaneo-stop» встречаются примерно в 2% случаев [170]. Помимо основного осложнения - боль в области тарзального синуса, у артроэреза подтаранного сустава встречаются и другие осложнения. Одним из описанных для подтаранных имплантов осложнений является гиперкоррекция [202]. Также одно из часто встречающихся осложнений при использовании подтаранных имплантов – это миграция импланта. При этом, вес пациента влияет на вероятность миграции импланта: 39% миграций наблюдалось у пациентов с избыточным весом и 23% - у пациентов с нормальным весом [111]. В среднем такие осложнения, как миграция, неполная коррекция или гиперкоррекция, импакция в таранную и пяточную кость описываются примерно с частотой до 15% случаев и чаще всего требуют замены импланта [186]. Основным осложнением, описанным при использовании методики «calcaneo-stop» является неполная коррекция деформации и переломы винтов, которые встречаются достаточно редко [203]. Помимо этого, на частоту болевого синдрома после использования блокирующего винта результат лечения влияет вес пациента – чем выше вес, тем хуже результат лечения [166]. В среднем по данным литературы осложнения после использования подтаранных имплантов встречаются в 9,7%, а блокирующих винтов – 7,2% [203]. Разные источники по-разному описывают вероятность возврата к привычным нагрузкам и спорту после артроэреза подтаранного сустава. Так, N. Martinelli с соавторами не отмечают изменений в активности у детей после артроэреза подтаранного сустава [139]. А по результатам исследования V. Ravone с соавторами уже через 3 месяца после операции отмечается увеличение уровня физической активности без каких-либо ограничений [165]. Из всех вариантов артроэреза подтаранного сустава, публикации, посвящённые использованию подтаранных имплантов, характеризуются небольшими сериями наблюдений по отношению к публикациям, посвященным использованию методики «calcaneo-stop» [165]. Также нет единого мнения в отношении необходимости удаления подтаранных

имплантов. Во многих публикациях удаление подтаранных имплантов производится в связи с развитием осложнений [47, 54, 163, 183]. В детском возрасте не рекомендуется удалять подтаранные импланты до прекращения роста стопы с целью профилактики рецидива деформации [162, 183]. При использовании методики «calcaneo-stop» большинство авторов рекомендует удалять винты в среднем через пару лет после операции. Некоторые авторы для расчета времени удаления винтов используют формулу: возраст ребенка в годах $\times 2 + 6$ месяцев [181]. Большинство авторов не отмечает значимой потери коррекции как после удаления винтов, так и подтаранных имплантов [46, 71, 132, 193].

1.6.3 Остеотомии

Из всех вариантов остеотомий при лечении детей с плоскостопием наиболее распространены остеотомии пяточной кости - удлиняющая остеотомия пяточной кости и медиализирующая остеотомия бугра пяточной кости [115]. Удлиняющие остеотомии пяточной кости являются внутрисуставными. В зависимости от расположения линии остеотомии различают операцию Evans, при которой линия остеотомии проходит между передней и средней фасетками подтаранного сустава, и операцию Hintermann, при которой остеотомия выполняется между средней и задней фасетками. Первоначально концепция удлиняющей остеотомии пяточной кости базируется на теории D. Evans, который предположил, что основная анатомическая причина плоскостопия заключается в укорочении латеральной колонны стопы. В оригинальной публикации D. Evans посредством удлиняющей остеотомии пяточной кости корригировал вторичные вальгусные деформации стоп после лечения врожденной косолапости [90]. В дальнейшем остеотомия пяточной кости по Evans была популяризирована V. Mosca. В оригинальном описании операции D. Evans выполнял сечение пяточной кости проксимальнее пяточно-кубовидного сустава в среднем на 15 мм. V. Mosca отметил, что плоскость остеотомии должна проходить между передней и медиальной фасетками подтаранного сустава, для этого он вводил костный элеватор в подтаранный сустав для определения положения фасеток подтаранного сустава [147, 148].

Ряд кадаверных исследований показал, что при выполнении операции Evans удлинение пяточной кости до 10 мм является достаточным для коррекции, а дальнейшее удлинение не приводит к увеличению коррекции, а вызывает импрессию пяточной кости [38, 199]. При сравнении потенциала коррекции двух вариантов удлиняющей остеотомии пяточной кости показано, что потенциал коррекции как клинически, так и рентгенологически сопоставим. Однако, при остеотомии Hintermann имеется меньше вероятность развития дегенеративных изменений в пяточно-кубовидном суставе [86]. Также многие исследователи сходятся во мнении, что основное условие коррекции при удлиняющей остеотомии пяточной кости – это мобильность суставов предплюсны - чем ниже мобильность, тем ниже коррекция [41]. Несмотря на большое количество сравнительных исследований, нет консенсуса по выбору костного трансплантата, однако, показано, что нет существенных различий по стабильности коррекции и частоте замедленной консолидации между костными алло- и ауто трансплантатами [204]. J. Mehanna с соавторами отметили, что наибольшее количество удовлетворительных результатов после удлиняющей остеотомии пяточной кости наблюдалось в возрасте после 15 лет, что, вероятно, связано с особенностями прочностных характеристик пяточной кости в разных возрастных группах. [142].

Из осложнений удлиняющей остеотомии пяточной кости можно выделить: замедленная консолидация, тыльное смещение переднего отростка пяточной кости, боль в латеральной части стопы, повреждения малоберцовых сухожилий и икроножного нерва, а также повреждение фасеток подтаранного сустава [121]. Частота замедленной консолидации составляет около 5 – 6%. Тыльное смещение переднего отростка пяточной кости достигает 100%, а подвывих в пяточно-кубовидном суставе составляет около 11% [36, 121]. Также есть результаты кадаверных исследований, которые показывают, что остеотомия Evans увеличивает давление в пяточно-кубовидном суставе [70]. Однако, достаточно низкая частота дегенеративных изменений в пяточно-кубовидном суставе после удлиняющей остеотомии пяточной кости не позволяет считать увеличение давления в этом суставе после остеотомии пяточной кости осложнением [121].

Имеются анатомические исследования, показывающие высокую вариативность расположения фасеток подтаранного сустава, что обуславливает высокий риск повреждения фасеток подтаранного сустава при выполнении удлиняющей остеотомии пяточной кости [40, 57, 91, 177]. Также показано, что вероятность повреждения фасеток подтаранного сустава при выполнении остеотомии Evans выше, чем при выполнении остеотомии Hintermann [85].

Выполнение медиализирующей остеотомии пяточной кости преследует цель медиального смещения вектора силы сокращения трехглавой мышцы голени. Таким образом, снижается эвертирующая сила трехглавой мышцы голени [152, 157]. Стоит отметить, что показания к выполнению медиализирующей остеотомии пяточной кости в изолированном виде достаточно узкие – вальгус заднего отдела без значимой деформации на уровне среднего и переднего отдела. В связи с этим, медиализирующая остеотомия пяточной кости редко выполняется в изолированном виде [55]. Для коррекции элевации I плюсневой кости выполняется флекссионная остеотомия медиальной клиновидной кости – операция Cotton [195]. Также стоит отметить, что это вмешательство чаще всего выполняется как дополнение после реконструкции заднего отдела стопы [145, 195]. Исходя из данных литературы, операция Cotton имеет низкий процент осложнений и позволяет корректировать латеральный угол Meary в среднем на 15° [140].

1.6.4 Мягкотканые вмешательства при коррекции плоскостопия

Мягкотканые вмешательства для коррекции плоскостопия выполняются редко в связи с отсутствием стабильного результата [55]. Чаще всего используются различные варианты аугментации сухожилия задней большеберцовой мышцы, пяточно-ладьевидной и дельтовидной связок. V. Mosca выполнял релиз латеральной части апоневроза и мышцы, отводящей V палец, удлинение малоберцовых сухожилий, а также медиальную пликацию капсулы таранно-ладьевидного сустава и укорочение сухожилия задней большеберцовой мышцы [148]. Стоит отметить, как отмечал сам автор, что влияние этих вмешательств на конечный результат не совсем ясно, но выполнял их для улучшения мышечного

баланса. При сравнении разных вариантов коррекции плоскостопия на кадаверном материале (удлиняющая остеотомия пяточной кости; медиализирующая остеотомия пяточной кости с транспозицией длинного сгибателя пальцев; удлиняющая остеотомия пяточной кости и медиализирующая остеотомия пяточной кости + транспозиция длинного сгибателя пальцев; удлиняющая остеотомия пяточной кости + медиализирующая остеотомия пяточной кости + транспозиция длинного сгибателя пальцев + различные варианты реконструкции пяточно-ладьевидной связки (spring ligament), D.H. Zanolli с соавторами отметили, что самым большим корригирующим потенциалом обладает удлиняющая остеотомия пяточной кости по сравнению с вмешательствами на задней большеберцовой мышце и длинном сгибателе пальцев, а реконструкция пяточно-ладьевидной связки при комбинации с используемыми методами коррекции не оказывает значимого влияния на величину коррекции [210]. В качестве демонстрации роли задней большеберцовой мышцы на свод стопы, М. Rescheva с соавторами представляют отдаленные наблюдения 10 пациентов после транспозиции задней большеберцовой мышцы на тыл стопы и отмечают, что формирование значимой вальгусной деформации стопы не происходит [169]. Другие авторы также отмечали, что при транспозиции сухожилия задней большеберцовой мышцы у пациентов с последствиями повреждений малоберцового нерва функция стопы значимо не нарушается и риск развития вторичных деформаций достаточно низкий [25, 27]. Также в своем обзоре J.L. Walters отметил, что изолированные мягкотканые вмешательства при плоскостопии имеют ограниченные показания, транспозиций мышц недостаточно для увеличения силы задней большеберцовой мышцы, понимание биомеханики стопы и патомеханики плоскостопия меняет роль мягкотканых вмешательств при плоскостопии, однако их использование не стоит недооценивать [206].

Наиболее часто используемые мягкотканые вмешательства при реконструкции плоскостопия – это вмешательства, направленные на коррекцию укорочения трехглавой мышцы голени [5, 15, 66, 120]. Многие авторы заключают, что ввиду особенностей механики при стабилизации подтаранного сустава,

тыльное сгибание уменьшается в среднем на $5 - 15^\circ$ [41]. Критерием укорочения трехглавой мышцы голени в целом и икроножной мышцы в частности является ограничение тыльного сгибания стопы менее 10° [79, 172, 173]. При плоскостопии чаще всего укорачивается именно икроножная мышца [192]. Их всех вариантов удлинения ахиллова сухожилия наименее травматичный и простой в выполнении – это перкутанная ахиллотомия, которая была предложена М. Ноке [109, 135]. Учитывая, что при плоскостопии чаще всего отмечается укорочение икроножной мышцы, для увеличения тыльного сгибания стопы после коррекции плоскостопия используются различные варианты удлинения икроножной мышцы как на уровне апоневроза (операция Vilpius, Strayer), так и на уровне камбаловидной мышцы (операция Baumann) и головок икроножной мышцы (операция Silfverskiöld и Barouk). Рецессия икроножной мышцы в среднем позволяет увеличить тыльное сгибание стопы на 15° [172, 185]. Сравнительные исследования по амплитуде движений в голеностопном суставе после ахиллопластики и рецессии икроножной мышцы отсутствуют [65]. Частота осложнений при использовании обоих методов удлинения не превышает 10% [62, 65, 205]. Имеются данные формирования слабости икроножной мышцы после ахиллопластики [191]. С другой стороны, J.Коу с соавторами не находили значимого снижения силы икроножной мышцы через 1 год после рецессии [131].

1.6.5 Артрорезирующие вмешательства

Артрорезирующие вмешательства при коррекции плоскостопия в детском возрасте используются достаточно редко. В своих работах A.R. Kadakia отмечает, что большие исследования, посвященные отдаленным результатам после выполнения артрорезирующих вмешательств, не проводились с 1967 года и стоит селективно выбирать показания к выполнению артрорезов и при возможности сохранять движения в суставах [123]. Работы, посвященные отдаленным результатам трехсуставных артрорезов, показывают в среднем около 50-75% удовлетворительных результатов. Однако, у большинства пациентов после трехсуставного артрореза присутствуют признаки дегенеративных изменений в голеностопном и среднетарзальных суставах [75, 104, 184]. Изменения в

голеностопном суставе связаны с нарушением биомеханики суставов среднего и заднего отделов стопы, а также концентрации избыточной нагрузки на голеностопный сустав при отсутствии периталлярного движения. Движения в суставах стопы тесно связаны друг с другом и замыкание одного сустава приводит к перегрузке другого сустава. К примеру, E. Jack описал результаты выполнения артрореза ладьевидно-клиновидных суставов с отдаленным наблюдением до 5 лет как хорошие и отличные в 82% случаев [118]. N. Seymour проследил в дальнейшем за пациентами, которых оперировал E. Jack, и через 16-19 лет после лечения хорошие результаты были отмечены лишь в 50% случаев. При этом, были отмечены дегенеративные изменения в таранно-ладьевидном, подтаранном и голеностопном суставах [187]. Особенности биомеханики суставов предплюсны позволяют частично компенсировать утраченные движения в суставах. Так, после выполнения артрореза подтаранного сустава, частично сохраняются движения стопы в сагиттальной плоскости [25].

1.7 Терминология, используемая в диссертационном исследовании

С учетом разнообразной, а нередко и противоречивой терминологии, используемой при описании нормальных и патологических функций стопы, клинической и рентгенологической картины плоскостопия, а также хирургических вмешательств, применяемых при лечении детей с плоскостопием, необходимо единообразие в используемых терминах для корректного описания изучаемых явлений. С этой целью в настоящей работе будут использованы следующие термины:

- «плоскостопие» – это нарушение формы стопы, характеризующееся рядом клинических признаков: уплощением свода стопы и увеличением вальгуса заднего отдела стопы. Из описанных клинических критериев по данным литературы уплощение свода характеризуется уменьшением клинического угла свода (угла Dahle) менее 130° или уменьшением индекса Фридланда менее 27 [35, 141]. Также в большинстве источников литературы патологическим считается вальгус более 15° [56, 178, 188].

- «плано-вальгусная деформация стопы», «плоско-вальгусная деформация стопы», «плоскостопие» - в настоящем исследовании данные термины считаются синонимами ввиду отсутствия единой терминологии в описании подобных деформаций стоп в доступной литературе, а также в связи с особенностями биомеханики стопы, уплощение свода стопы ассоциировано с увеличением вальгуса заднего отдела.

- «снижение высоты свода/ продольного свода/ арки/ медиальной арки стопы», «коллапс свода/ арки/ медиальной арки/ продольного свода стопы», «уплощение стопы/ свода стопы/ арки/ медиальной арки/ медиального свода стопы» - указанная терминология также в настоящем исследовании считается тождественной, поскольку она описывает уплощение стопы.

- «инверзия стопы» — стереотипное движение стопы, обусловленное особенностями движений в суставах предплюсны, и включающее подошвенное сгибание, варус, супинацию, приведение переднего отдела стопы.

- «эверзия стопы» — стереотипное движение стопы, обусловленное особенностями движений в суставах предплюсны, и включающее тыльное сгибание, вальгус, пронацию, отведение переднего отдела стопы.

- «инверзия подтаранного сустава» — это положение, которое занимает подтаранный сустав при инверзии стопы и характеризуется уменьшением таранно-пяточного угла (угла Kite) на передне-задней и боковой рентгенограмме стопы.

- «эверзия подтаранного сустава» — это положение, которое занимает подтаранный сустав при эверзии стопы и характеризуется увеличением таранно-пяточного угла (угла Kite) на передне-задней и боковой рентгенограмме стопы.

- «артроэрез подтаранного сустава» — различные виды хирургических методов, используемых при коррекции плоскостопия и заключающихся в помещении инородного тела/ импланта в область тарзального синуса. При это, имплантируемая конструкция может располагаться как в преддверии тарзального синуса, так и внутри тарзального синуса и тарзального канала.

- «ретракция/ укорочение» - синонимы, описывающие уменьшение продольных размеров мышцы/ сухожилия.

- «ретракция/ укорочение трехглавой мышцы голени/ ахиллова сухожилия» - термины, принятые в настоящем исследовании за синонимы. В литературе чаще всего используется термин «укорочение ахиллова сухожилия», однако, он не совсем корректно описывает данное состояние в связи с тем, что сухожилие и мышца являются единым функциональным блоком и при укорочении мышцы сложно выделить уровень, на котором оно произошло (мышца, апоневроз, сухожилие).

1.8 Заключение

Таким образом, анализ литературы показал, что самая большая сложность в диагностике плоскостопия на основании анализа формы стопы ребенка заключается в отсутствии референтных значений. Форма стоп у детей в популяции может значительно варьировать и зависеть от множества факторов. Кроме того, плоскостопие является нормальным этапом развития стопы, и основная сложность в диагностике плоскостопия заключается в разделении нормы и патологии.

Классификации и системы оценки, основанные на форме стопы, позволяют оценить величину деформаций стоп, но не отделяют норму от патологии и не отвечают на вопрос - почему некоторые дети с плоскостопием имеют функциональные ограничения и жалобы, а некоторые нет. Единственная классификация, позволяющая определить границы нормы – это классификация, разделяющая деформации стоп на мобильные и ригидные формы. Мобильные формы чаще всего являются отражением нормального развития стопы ребенка, а ригидные формы под собой имеют анатомические причины, определяющие ограничение мобильности суставов предплюсны. Вместе с тем, нет единого понимания к какой именно форме относится плоскостопие с укорочением ахиллова сухожилия, а также почему часть пациентов с мобильным плоскостопием имеют функциональные ограничения и болевой синдром.

Показания к хирургическому лечению достаточно условны. В случае ригидного плоскостопия выраженность функциональных нарушений и болевой синдром определяют показания к проведению операции. С другой стороны, у пациентов, имеющих мобильное плоскостопие и жалобы, в некоторых случаях выставляются показания к операции, а в некоторых нет.

Подходы к хирургическому лечению детей с плоскостопием разнородны и не систематизированы. Часто выбор метода коррекции зависит от личных предпочтений хирурга и одному и тому же пациенту может быть предложено выполнение остеотомии пяточной кости, артроэреза подтаранного сустава и вмешательств на медиальных сухожильно-связочных структурах стопы.

Исходя из анализа данных научной литературы, можно сделать заключение, что тема хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием актуальна и требует углубленного изучения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**2.1 Схема проводимого исследования**

Настоящее диссертационное исследование выполнено в ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России, является смешанным - ретроспективным и проспективным исследованием.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России, протокол №17-3 от 10.09.2017. Научное исследование соответствует положениям Хельсинкской декларации о правах пациента. Для участия в работе у законных представителей пациентов было получено письменное согласие на обработку, анализ и публикацию обезличенных персональных данных, а также результатов исследования. Пациенты старше 15 лет дополнительно подписывали информированное согласие, тем самым подтверждая свое добровольное решение участвовать в представленном научном исследовании.

Данная работа основана на результатах обследования и лечения различными методами 506 пациентов с плоскостопием в возрасте от 9 до 16 лет за период с 2011 по 2025 год. Из них - 367 пациентов с ригидным плоскостопием находились на стационарном и амбулаторном наблюдении и лечении в ФГБУ «Национального медицинского исследовательского центра детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России. Пациенты с мобильным плоскостопием (N=54) были обследованы амбулаторно. Для оценки встречаемости плоскостопия у школьников проведено кросс-секционное обследование 220 детей в ГБОУ школа-интернат № 49 Петродворцового района Санкт-Петербурга "Школа здоровья", из которых 85 детей были включены в группу мобильного плоскостопия на основании выявленных клинических симптомов.

2.1.1 Дизайн исследования

Исследование состояло из двух частей:

- I. Оценка анатомо-функциональных параметров у детей с плоскостопием;
- II. Анализ методов хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием.

Все пациенты I части исследования были разделены на 3 группы на основании оценки мобильности и функции стопы. Схема обследований и разделения пациентов I части исследования приведена на рисунке 2.1.

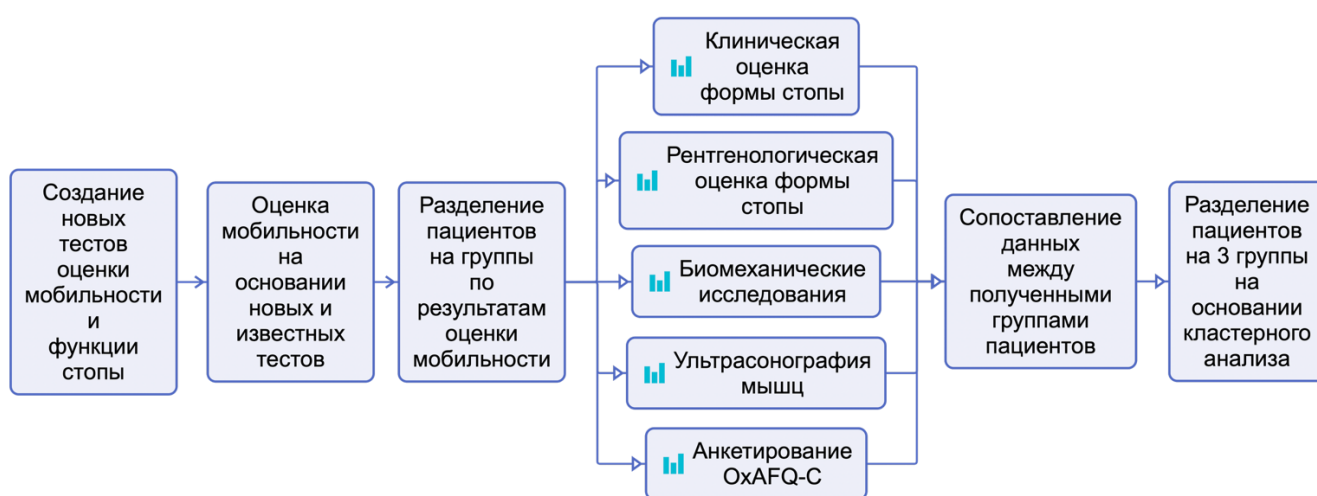


Рисунок 2.1. Схема обследований и разделения пациентов I части исследования.

Как можно увидеть на рисунке 2.1, первичное разделение пациентов на группы осуществлялось на основании мобильности суставов предплюсны.

В рамках диссертационного исследования было проведено обследование 641 ребенка. Из них, 506 пациентов с плоскостопием. 367 пациентов с ригидным плоскостопием, находились на стационарном и амбулаторном наблюдении и лечении. Пациенты с мобильным плоскостопием (N=54) были обследованы амбулаторно. При проведении кросс-секционного обследования детей в школе-интернате № 49 было выявлено 85 пациентов, отвечающих критериям плоскостопия. Учитывая данные клинического осмотра, они были включены в группу детей с мобильным плоскостопием. Схематичное изображение групп пациентов, участвующих в исследовании приведено на рисунке 2.2.

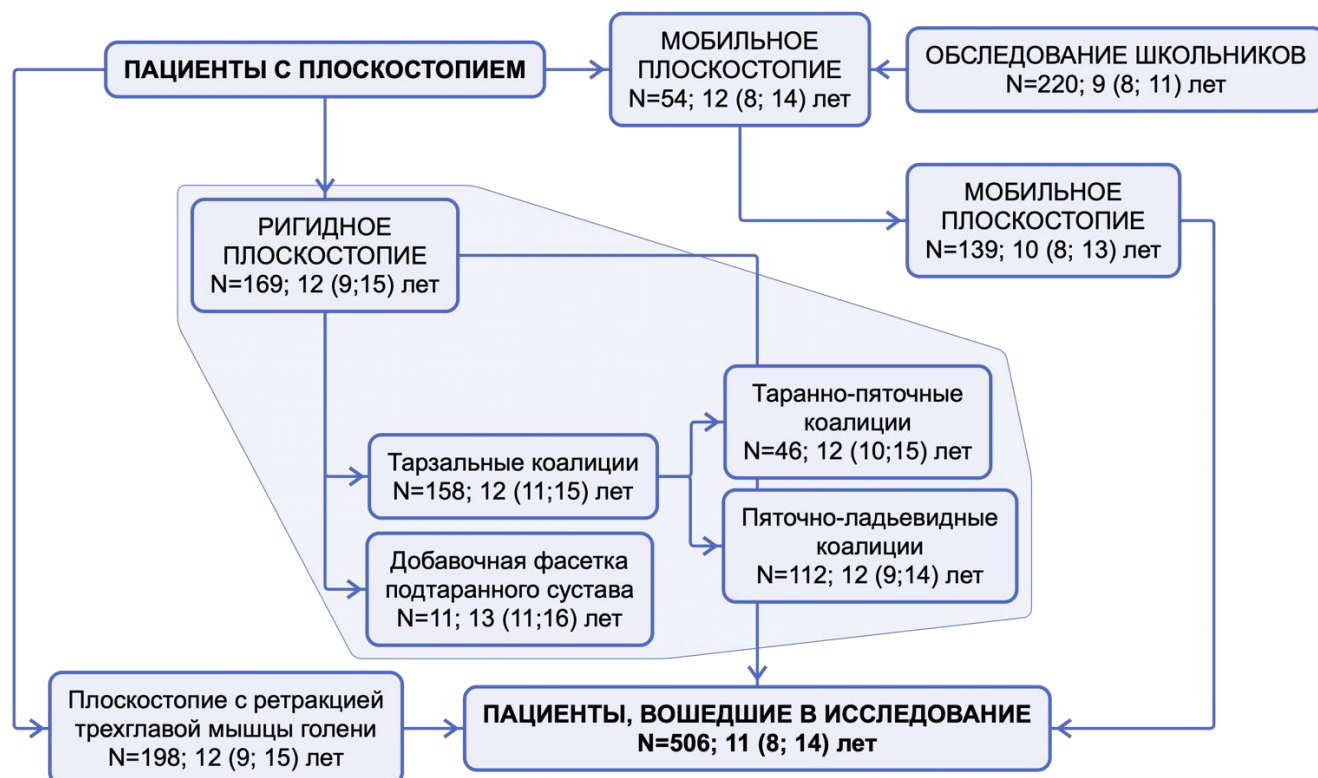


Рисунок 2.2. Схематичное изображение групп пациентов, участвовавших в исследовании.

Как можно увидеть из рисунка 2.2, группы пациентов, участвовавших в исследовании, состояли из детей с мобильным, ригидным плоскостопием, а также плоскостопием, в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени. Группы детей с тарзальными коалициями, плоскостопием с ретракцией трехглавой мышцы голени и мобильным плоскостопием не имели значимых различий по возрасту (тест Kruskal-Wallis; $p=0,172$), что делает их сопоставимыми для сравнительного анализа.

При обследовании школьников выполнялись 5 групп исследований: клиническая оценка, плантография, УЗИ, биомеханические исследования, а также анкетирование. Кроме того, пациентам с плоскостопием, которые вошли в настоящее исследование, выполнялась оценка мобильности суставов предплюсны на основании известных и новых разработанных клинических тестов. На основании полученных данных был выполнен расчет основных критериев, характеризующих диагностическую значимость этих тестов. Пациентам, которые проходили обследование и лечение на стационарном и амбулаторном этапе, помимо

указанных выше исследований, выполнялись рентгенологические исследования и МРТ (при необходимости). Схема I части исследования приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3. Схема обследования пациентов, участвовавших в I части исследования.

Как можно увидеть из рисунка 2.3, пациентам с мобильным и ригидным плоскостопием, находившихся на амбулаторном и стационарном наблюдении, также были выполнены рентгенографические обследования и МРТ. Для оценки паттернов естественного развития стоп у детей с разными видами плоскостопия была проведена оценка клинико-рентгенометрических параметров в среднем в течение 3 лет. Наблюдение за естественным развитием стоп у детей с плоскостопием осуществлялось на основании повторных осмотров или сопоставления ранее полученных данных при этапной госпитализации для реконструкции контралатеральной стопы.

Хирургическое лечение пациентов с ригидным плоскостопием состояло из двух этапов:

1. Увеличение мобильности суставов предплюсны;
2. Стабилизация суставов предплюсны.

Схема проведения 1 этапа II части обследования изображена на рисунке 2.4.

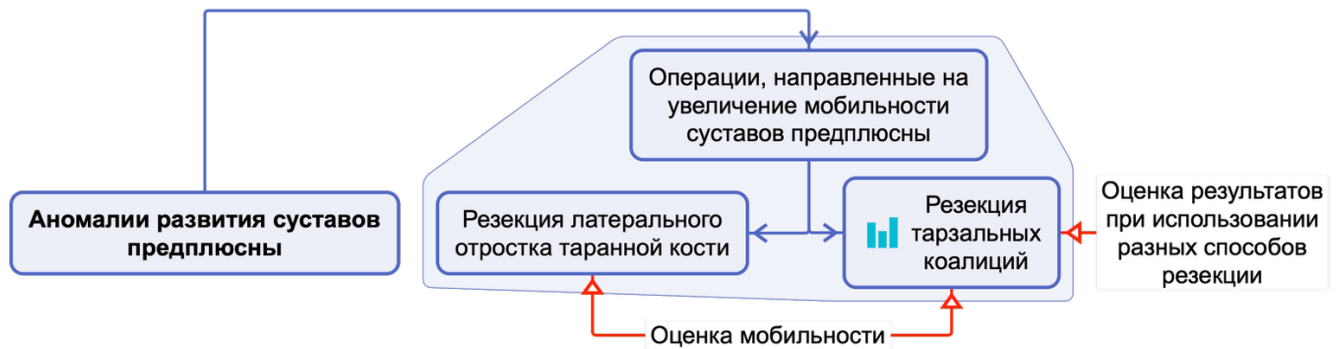


Рисунок 2.4. Схема проведения 1 этапа II части исследования. Стрелками красного цвета отмечены сравнительные исследования.

Как можно увидеть из рисунка 2.4, 1 этапом II части исследования выполнялись хирургические вмешательства, направленные на увеличение мобильности суставов предплюсны. После устранения анатомических причин ригидности детям с плоскостопием выполнялись вмешательства, направленные на стабилизацию суставов предплюсны. Под стабилизацией суставов предплюсны подразумевалось хирургическое лечение, заключающееся в использовании разных методик артроэреза подтаранного сустава и остеотомий пяточной кости. Выбор метода стабилизации суставов предплюсны был обусловлен хронологическим принципом: артроэрез подтаранного сустава имплантом выполнялся с 2011 по 2014 год; артроэрез подтаранного сустава винтом в пяточную кость выполнялся с 2014 по 2017 год, артроэрез подтаранного сустава винтом в таранную кость выполнялся с 2018 года. Удлиняющая остеотомия пяточной кости по Evans выполнялась с 2011 по 2022 год, удлиняющая остеотомия пяточной кости по Hintermann выполнялась с 2021 года. Также, исходя из данных литературы, артроэрез подтаранного сустава выполнялся детям до 12 лет, после 12 лет выполнялись остеотомии пяточной кости. Схема 2 этапа II части исследования приведена на рисунке 2.5.

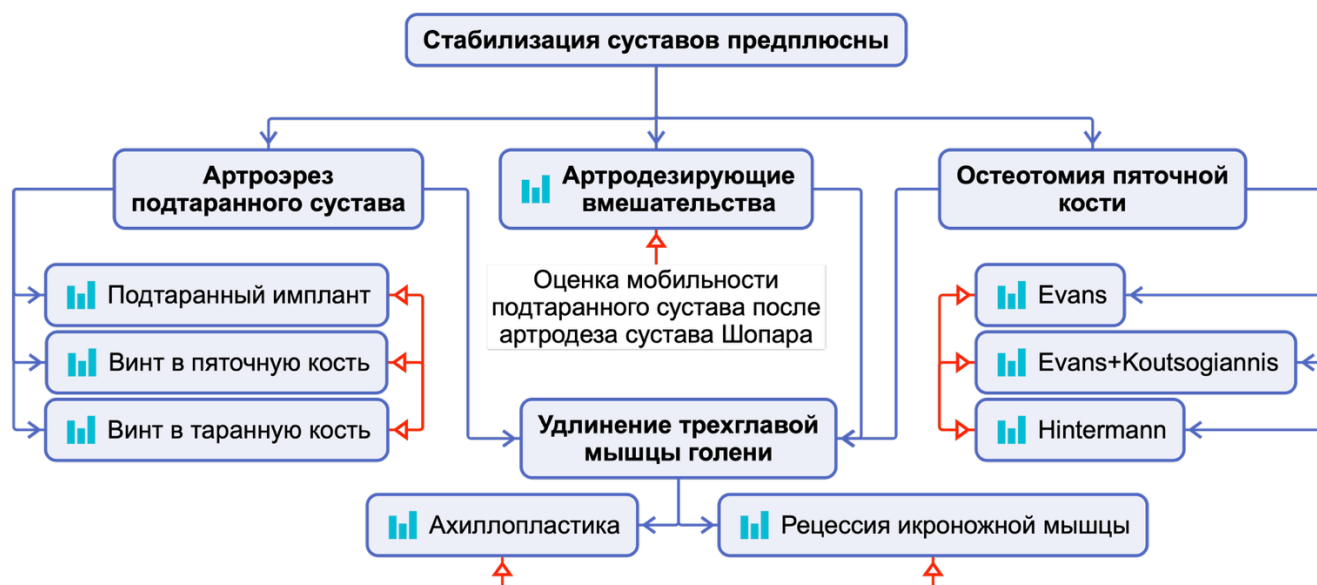


Рисунок 2.5. Схема проведения 2 этапа II части исследования. Стрелками красного цвета отмечены сравнительные исследования.

Как можно увидеть на рисунке 2.5, стабилизация суставов предплюсны выполнялась в трех вариантах – различные виды артролиза подтаранного сустава, остеотомии пяточной кости и артроеза сустава Шопара. При ограничении тыльного сгибания стопы выполнялись вмешательства, направленные на коррекцию укорочения трехглавой мышцы голени. При этом производился сравнительный анализ между разными вариантами стабилизации, а также различными видами коррекции укорочения трехглавой мышцы голени.

Полученные данные были проанализированы при помощи разных методов статистического анализа – дескриптивной статистики, методов статистических выводов для проверки гипотез, а также многомерного статистического анализа. На основании полученных данных разработан алгоритм выбора метода стабилизации суставов предплюсны у пациентов с разными типами плоскостопия.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст от 7 до 18 лет,
- диагноз «плоскостопие».

Критерии исключения из исследования:

- возраст до 7 лет и старше 18 лет;

- неврологические заболевания, сопровождающиеся явлениями центрального или периферического пареза/ пlegии;
- последствия травм стоп, с необратимыми повреждениями, оказывающими влияние на форму и функцию стопы;
- тяжелые многокомпонентные пороки развития стоп и голеней, затрагивающие опорно-двигательный аппарат, васкулярные и неврологические структуры как в изолированном виде, так и в структуре синдромов;
- скелетные дисплазии;
- перенесенные ранее операции на костях стоп, оказывающие влияние на форму и функцию стопы.

2.2 Клиническое обследование

2.2.1 Оценка формы стопы

Клиническая диагностика заключалась в сборе анамнестических данных, а также жалоб пациентов и их родителей. При клинической оценке был использован Оксфордский опросник состояния стопы и голеностопного сустава для детей (OxAFQ-C). Используемая шкала-опросник валидирована и адаптирована к использованию в России. При этом, ответы на вопросы были закодированы следующим образом: никогда – 0 баллов, редко – 1 балл, иногда – 2 балла, очень часто – 3 балла, всегда – 4 балла.

Диагноз «плоскостопие» ставился на основании следующих подометрических критериев: уплощение свода стопы (клинический угол свода менее 130°) и/ или вальгус заднего отдела более 15° и/ или индекс Фридланда <27 . Методика измерения клинического угла свода и вальгуса заднего отдела приведена на рисунке 2.6.

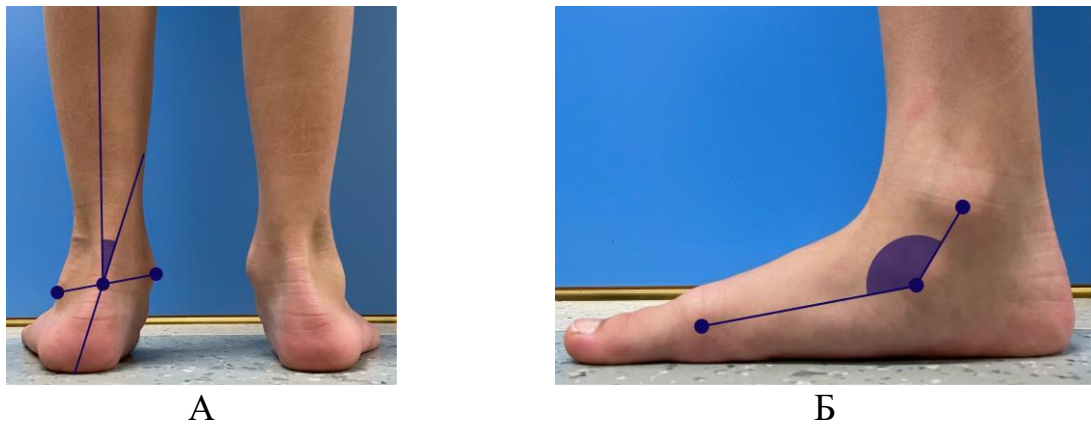


Рисунок 2.6. Методика измерения подометрических критериев для постановки диагноза «плоскостопие». А – методика измерения вальгуса заднего отдела; Б – методика измерения клинического угла свода.

Как можно увидеть из рисунка 2.6, измерение вальгуса заднего отдела осуществлялось следующим образом: точка построения угла ставилась на линии, соединяющей апопексы латеральной и медиальной лодыжек в центре ахиллова сухожилия. Через эту точку проводилась линия, соответствующая оси голени, а также линия, соответствующая положению заднего отдела стопы (рисунок 2.6А). Клинический угол свода строился по трем точкам: в области медиальной лодыжки, бугристости ладьевидной кости, а также центра головки I плюсневой кости [78], (рисунок 2.6Б). Помимо этого, для оценки степени уплощения стопы производилось измерение подометрического индекса Фридланда (рисунок 2.7).

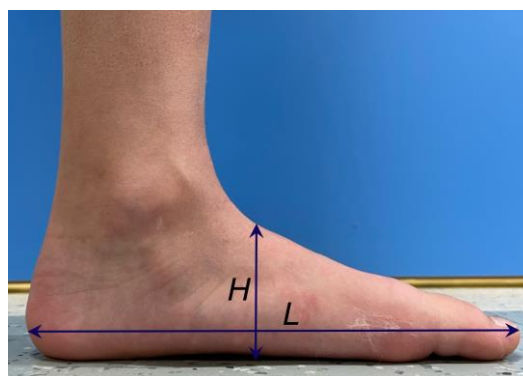


Рисунок 2.7. Схема определения длины и высоты стопы для расчета подометрического индекса Фридланда.

Как можно увидеть на рисунке 2.7, длина стопы определялась расстоянием между максимально удаленными точками в переднем и заднем отделах. Высота стопы определялась расстоянием от точки, расположенной в самой верхней части

стопы до перехода на голеностопный сустав (~ на 1,5 см кпереди от голеностопного сустава) до точки опорной поверхности, расположенной на вертикально проведенной от первой точки линии [31]. Индекс Фридланда рассчитывался как соотношение высоты стопы к ее длине: $H/L \times 100\%$. Референтные значения подометрических критериев приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Референтные значения основных подометрических параметров

Подометрический критерий	Пороговое значение, определяющее плоскостопие
Клинический угол свода (угол Dahle)	$<130^\circ$
Вальгус заднего отдела стопы	$>15^\circ$
Индекс Фридланда	<27

Помимо оценки формы стопы при клиническом осмотре определялась локализация болевых ощущений, болезненность при пальпации, а также спазм мышц голени.

2.2.2 Оценка мобильности суставов предплюсны

Для оценки мобильности суставов предплюсны использовались следующие клинические тесты:

- тест «вставания на цыпочки»;
- тест Jack;
- оценка пассивной инверзии и эверзии стопы;
- определение величины тыльного сгибания стопы, тест Silfverskiöld.

Тест вставания на цыпочки заключался в оценке изменения положения заднего отдела стопы при вставании на цыпочки (рисунок 2.8).

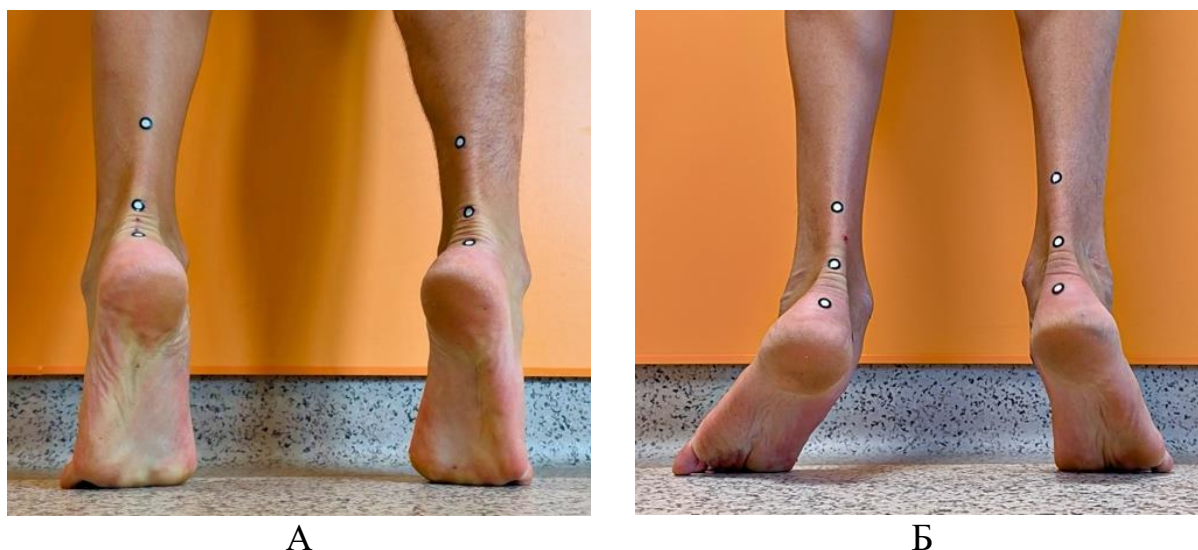


Рисунок 2.8. Различные результаты выполнения теста вставания на цыпочки. А – тест отрицательный; Б – тест положительный.

Как видно на рисунке 2.8, тест «вставания на цыпочки» считался отрицательным, если задний отдел стопы менял свое положение из вальгусного на варусное/ нейтральное (рисунок 2.8А). При сохранении вальгусного положения заднего отдела при выполнении теста, он считался положительным (рисунок 2.8Б).

Тест Jack заключался в оценке изменения высоты свода стопы при выполнении пассивной экстензии I пальца стопы (рисунок 2.9).

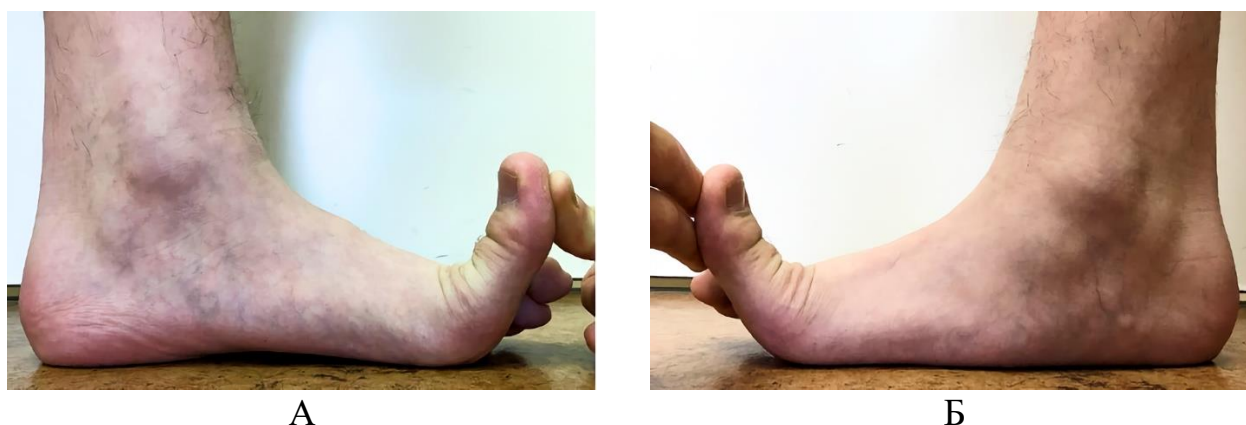


Рисунок 2.9. Различные результаты выполнения теста Jack. А - тест отрицательный, Б – тест положительный.

Как видно из рисунка 2.9, тест Jack считался отрицательным при увеличении высоты свода стопы после пассивной экстензии I пальца (рисунок 2.9А). При отсутствии изменения высоты свода стопы, тест Jack считался положительным (рисунок 2.9Б).

Оценка пассивной инверзии и эверзии осуществлялась в положении лежа/сидя. Посредством выполнения пассивных инверзионных и эверзионных движений стопы производилась их оценка (рисунок 2.10).



А



Б

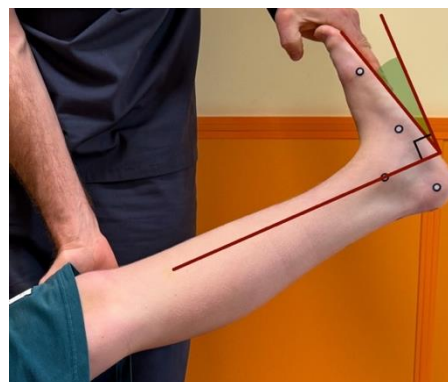
Рисунок 2.10. Оценка пассивной инверзии (А) и эверзии (Б) стопы.

Как можно отметить из рисунка 2.10, ограничение пассивной инверзии/эверзии стопы определялось при ограничении этих движений при сравнении с контралатеральной стороной или на основании клинического опыта экзаменатора.

Тыльное сгибание стопы измерялось при сгибании коленного сустава под углом 90° и полном разгибании коленного сустава (тест Silfverskiöld). Методика измерения величины тыльного сгибания стопы изображена на рисунке 2.11.



А



Б

Рисунок 2.11. Методика измерения величины тыльного сгибания стопы при проведении теста Silfverskiöld: А – сгибание коленного сустава под прямым углом; Б – полное разгибание коленного сустава.

Как видно на рисунке 2.11, для определения величины тыльного сгибания стопы проводилась линия через медиальную лодыжку параллельно переднему краю большеберцовой кости. В точке пересечения с задним отделом стопы

проводился перпендикуляр к этой линии. Угол тыльного сгибания стопы измерялся между проведенным перпендикуляром и линией, соответствующей подошвенной поверхности стопы. Укорочение трехглавой мышцы голени определялось при снижении величины тыльного сгибания стопы менее 10° при полном разгибании коленного сустава. Тест Silfverskiöld считался положительным при увеличении тыльного сгибания стопы при сгибании коленного сустава более чем на 10° , что свидетельствовало о преимущественной ретракции икроножной мышцы.

2.3 Инструментальное обследование

2.3.1 Плантография у детей с плоскостопием

Плантографическое исследование заключалось в расчете параметров, приведенных на рисунке 2.12. Границами отпечатка стопы считались контуры зоны анемии подошвенной поверхности.

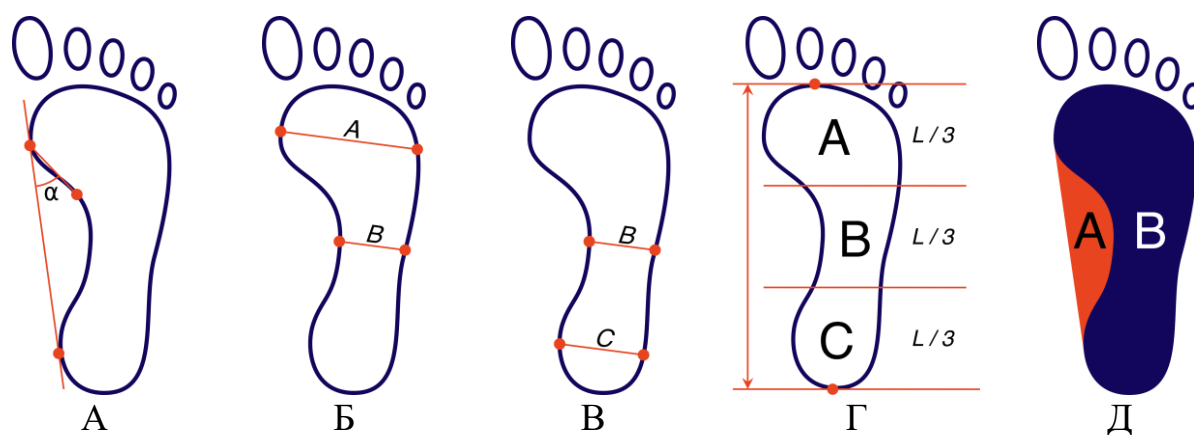


Рисунок 2.12. Схема расчета основных плантографических параметров стоп (А – угловой параметр; Б – Д – индексы).

Угол Schwartz и Clarke (рисунок 2.12 А) рассчитывался между линией, касательной к медиальному краю отпечатка стопы, и линией, построенной из самой медиальной точки отпечатка переднего отдела стопы, к точке, находящейся на вершине вогнутой части отпечатка переднего отдела. Индекс Chippaux-Smirak (рисунок 2.12Б) заключался в отношении ширины отпечатка стопы в среднем отделе к ширине отпечатка стопы в переднем отделе – $B/A \times 100\%$. Индекс Staheli (рисунок 2.12В) рассчитывался как отношение ширины отпечатка стопы в среднем отделе к ширине отпечатка стопы в заднем отделе – $B/A \times 100\%$. Индекс Cavanagh и

Rodgers (рисунок 2.12Г) представлял собой отношение площади средней трети отпечатка стопы без учета пальцев к общей площади отпечатка стопы - $SB/SA+SB+SC$. Индекс Irwin (рисунок 2.12Д) показывал отношение ненагружаемой части подошвенной поверхности стопы к нагружаемой части (зона анемии) - SA/SB . При этом, плоскостопием считаются следующие отклонения от референтных значений [31, 79, 85, 89] (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Референтные значения основных плантографических параметров

Плантографический критерий	Пороговое значение, определяющее плоскостопие
Угол Schwartz и Clarke	$<15^\circ$
Индекс Chippaux-Smirak	$>0,7$
Индекс Staheli	$>0,8$
Индекс Cavanagh и Rodgers	$>0,26$
Индекс Irwin	$<40\%$

2.3.2 Рентгенометрия стоп у детей с плоскостопием

Рентгенологическое исследование заключалось в расчете рентгенометрических показателей на рентгенограммах, выполненных в передне-задней и боковой проекции в положении пациента стоя [41]. Список рентгенометрических критериев, используемых в настоящей работе, приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Рентгенометрические показатели, анализируемые в исследовании

№	Исследуемый угол	Референтные значения	Рентгенологическая проекция
1.	Латеральный угол Kite	$15-30^\circ$	Боковая
2.	Латеральный угол Meary	$0-10^\circ$	
3.	Угол наклона пяточной кости	$20-30^\circ$	
4.	Таранно-большеберцовый угол	$80-90^\circ$	
5.	Угол продольного свода	$125-140^\circ$	
6.	Передне-задний угол Kite	$15-30^\circ$	Передне-задняя
7.	Передне-задний угол Meary	$0-10^\circ$	
8.	Угол латерального смещения ладьевидной кости	$5-10^\circ$	
9.	Угол приведения переднего отдела	$>15^\circ$	

Как можно отметить из таблицы 2.3, используемые ангулометрические величины характеризовали величину деформации стопы как на передне-задней, так и на боковой рентгенологической проекции.

Схема измерения углов, характеризующих степень деформации стопы, приведена на рисунке 2.13, номер угла в таблице 2.3 соответствует номеру на рисунке.



Рисунок 2.13. Схема построения углов на рентгенограммах стоп в боковой (А) и передне-задней (Б) проекции.

Построение углов на боковой и передне-задней рентгенограмме стопы осуществлялось в соответствии с общепринятыми правилами как изображено на рисунке 2.13. При этом, угол Kite (1) на боковой рентгенограмме образован линией оси таранной кости и линией, проведенной по нижним точкам пяточного бугра и переднего отростка пяточной кости. Угол Meary (2) образован линиями осей таранной и I плюсневой кости. Угол наклона пяточной кости (3) построен между линией опорной поверхности и нижним точкам пяточного бугра и переднего отростка пяточной кости. Таранно-большеберцовый угол (4) определялся пересечением оси таранной и большеберцовой кости. Угол продольного свода (5) построен по методике Ф.Р. Богданова и формируется между нижней точкой ладьевидно-клиновидного сустава, а также нижними точками I плюсневой и пяточной кости. Угол Kite (6) на передне-задней рентгенограмме образован пересечением линий осей таранной и пяточной кости. Угол Meary (7) так же, как и

на боковой рентгенограмме, формировался при пересечении оси I плюсневой и таранной кости. Угол латерального смещения ладьевидной кости (8) строился по крайним точкам суставных поверхностей таранной и ладьевидной кости в таранно-ладьевидном суставе. Угол приведения переднего отдела стопы (9) был образован линией оси II плюсневой кости и перпендикуляром, восстановленным из середины линий по медиальной и латеральной границам среднего отдела стопы.

2.3.3 Оценка качественных рентгенологических критериев у детей с плоскостопием

На стандартных рентгенограммах стоп в передне-задней и боковой проекциях в положении пациента стоя осуществлялось выявление и анализ следующих рентгенологических признаков аномалий развития костей предплюсны:

- С-симптом;
- Симптом «клюва»;
- Симптом «нос муравьеда».

Указанные рентгенологические признаки изображены на рисунке 2.14.

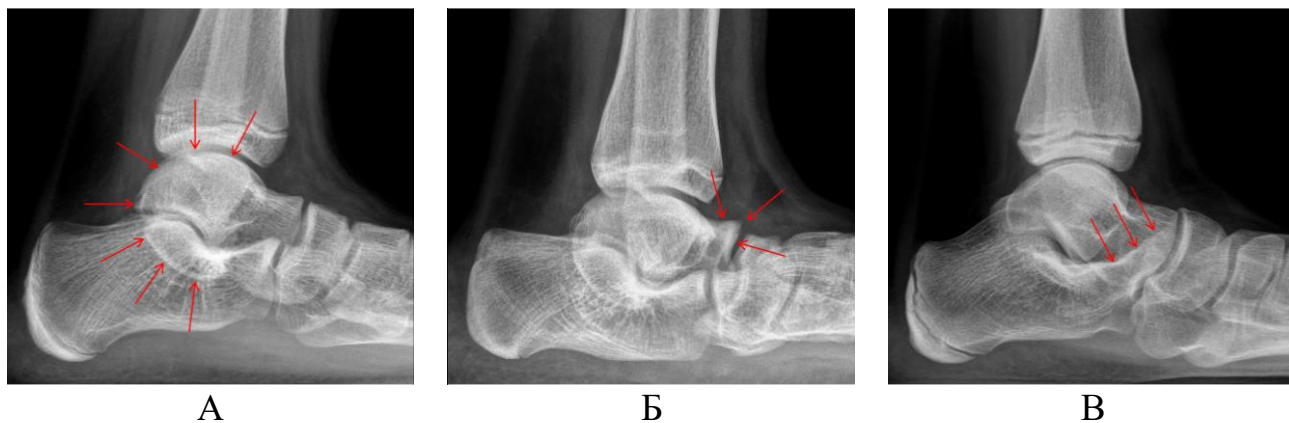


Рисунок 2.14. Рентгенологические признаки аномалий развития костей предплюсны. А – С-симптом, Б – симптом «клюва», В – симптом «нос муравьеда».

Указанные на рисунке 2.14 рентгенологические признаки являлись косвенными признаками тарзальных коалиций. Выявление указанных рентгенологических признаков служило поводом для дальнейшего обследования - выполнения компьютерной томографии.

2.3.4 Определение выраженности дегенеративных изменений на рентгенограммах стоп

Учитывая сложность визуализации всех суставов предплюсны на стандартных рентгенограммах, выраженность дегенеративных изменений суставов предплюсны оценивалась по состоянию таранно-ладьевидного сустава в соответствии с критериями J.H. Kellgren и J.S. Lawrence в модификации Н.В. Menz. Стадии артроза таранно-ладьевидного сустава изображены на рисунке 2.15.

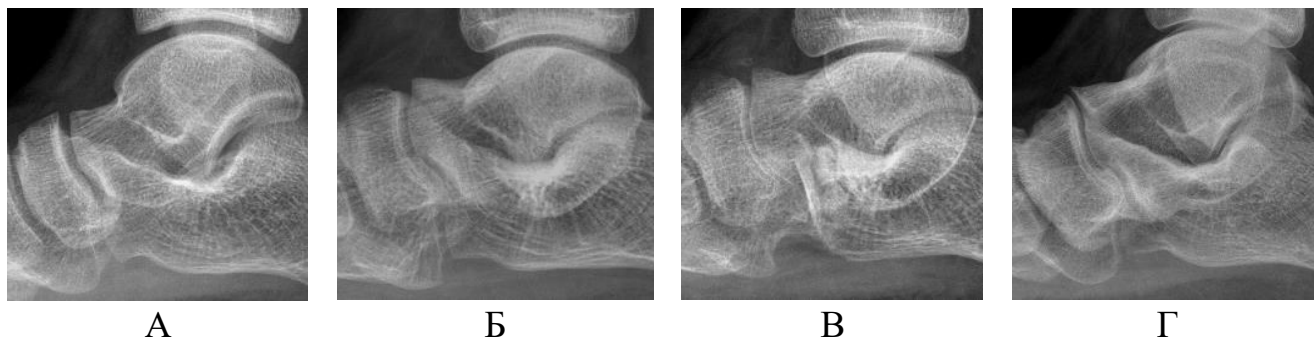


Рисунок 2.15. Стадии артроза таранно-ладьевидного сустава по классификации J.H. Kellgren и J.S. Lawrence в модификации Н.В. Menz на примере рентгенограмм пациентов с тарзальными коалициями: А – нормальная ширина щели таранно-ладьевидного сустава, отсутствуют краевые разрастания; Б – незначительное сужение щели таранно-ладьевидного сустава или краевые разрастания в области таранно-ладьевидного сустава до 1 мм, что соответствует I стадии артроза таранно-ладьевидного сустава; В – умеренное сужение щели таранно-ладьевидного сустава или краевые разрастания в области таранно-ладьевидного сустава более 1 мм, субхондральный остеосклероз, что соответствует II стадии артроза таранно-ладьевидного сустава; Г – выраженное сужение щели таранно-ладьевидного сустава или выраженные краевые разрастания в области таранно-ладьевидного сустава, субхондральный остеосклероз, что соответствует III стадии артроза таранно-ладьевидного сустава.

Как можно увидеть из рисунка 2.15, стадия артроза таранно-ладьевидного сустава определялась, исходя из степени снижения ширины суставной щели и/или величины краевых разрастаний из таранной и ладьевидной кости в тыльной части сустава.

2.3.5 Компьютерная томография

Компьютерная томография выполнялась на мультиспиральном 64-срезовом компьютерном томографе Philips «Brilliance» с шагом срезов при сканировании 0,8-1 мм для выявления тарзальных коалиций и иных изменений, приводящих к ограничению мобильности суставов предплюсны. Анализ данных КТ осуществлялся как на срезах в 3 плоскостях, так и при 3D моделировании. Компьютерная томография выполнялась пациентам для верификации тарзальных коалиций при ограничении мобильности суставов предплюсны и как этап предоперационного планирования у пациентов с тарзальными коалициями.

2.3.6 Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография выполнялась на томографах 1,5-3 Тесла. При выполнении МРТ визуализировались зоны трабекулярного отека в T2 и STIR-режимах. Определялось наличие выпота в суставах предплюсны и каналах сухожилий. При предоперационном планировании производилось соотношение зоны предполагаемого хирургического вмешательства с расположением регионарных нейроваскулярных структур.

2.3.7 Ультразвуковое исследование

Ультразвуковое исследование выполнялось при использовании линейного датчика с частотой 7-18 МГц. Для оценки структуры икроножных мышц выполнялось продольное сканирование медиальной головки икроножной мышцы (рисунок 2.16).

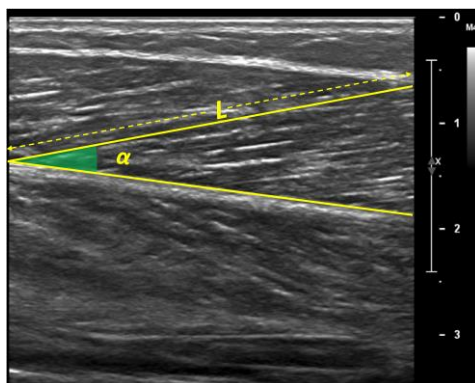


Рисунок 2.16. Ультрасонограмма при продольном сканировании медиальной головки икроножной мышцы.

Как можно увидеть из рисунка 2.16, при выполнении продольного сканирования икроножной мышцы вычислялся угол наклона мышечной фасцикулы α (угол пеннации), и длина мышечной фасцикулы L . Длина мышечной фасцикулы (L) рассчитывалась как расстояние между краями мышечной фасцикулы от глубокого до поверхностного листка фасции. Угол пеннации (α) строился между линией, соответствующей направлению мышечных фасцикул, и линией глубокого листка фасции. Для нивелирования погрешности указанных измерений в зависимости от положения стопы все сонограммы выполнялись в положении пациента стоя (бипедальная стойка). Помимо этого, оценивалась толщина медиальной головки икроножной мышцы и камбаловидной мышцы.

Для оценки структуры сухожилия задней большеберцовой мышцы проводилось ультразвуковое исследование – поперечное и продольное сканирование сухожилия задней большеберцовой мышцы (рисунок 2.17).



Рисунок 2.17. УЗИ сухожилия задней большеберцовой мышцы. А – пример расположения датчика; Б – пример сонограммы (красным цветом отмечено сухожилие задней большеберцовой мышцы).

Как можно увидеть на рисунке 2.17, сухожилие задней большеберцовой мышцы при ультразвуковом исследовании выглядит как гиперэхогенная структура (отмечено красным цветом). При этом выполнялось продольное и поперечное сканирование на уровне проксимальнее медиальной лодыжки, в области ретромаллеолярного канала, а также дистальнее медиальной лодыжки до точки инсерции. Определялось нарушение структуры и целостности сухожилия, явления синовита.

Измерения как рентгенологических, так и клинических параметров осуществлялись в программном комплексе Weasis v. 3.5.4.

2.3.8 Электромиография

Для анализа функционирования мышц голени при ходьбе выполнялась динамическая ЭМГ. Биполярные электроды располагались в области передне-латерального компартмента на границе средней и верхней трети голени (передняя большеберцовая мышца) и в области медиальной головки икроножной мышцы (в двигательных зонах указанных мышц). Уровень установки датчика определялся по УЗИ – центр брюшка мышцы в области максимальной ее толщины. При динамической ЭМГ записывалось 3 – 4 полных цикла шага в нескольких вариантах: ходьба, быстрая ходьба, ходьба на цыпочках, ходьба на пятках, вставание на цыпочки. Пример графиков динамической ЭМГ приведен на рисунке 2.18.

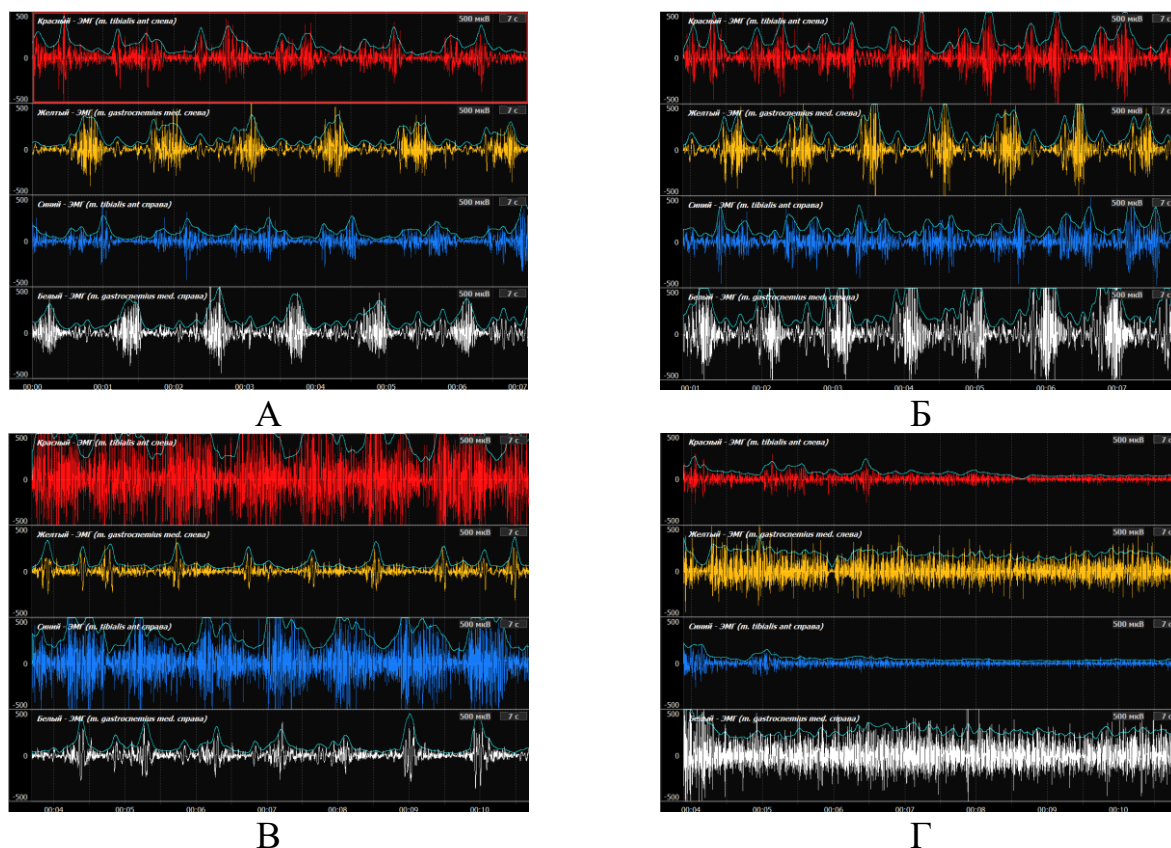


Рисунок 2.18. Примеры графиков ЭМГ при выполнении разных действий: ходьба (А), быстрая ходьба (Б), ходьба на пятках (В), вставание на цыпочки (Г).

При анализе данных ЭМГ рассчитывались следующие параметры:

- Средняя и максимальная величина тока по исследуемому каналу ($A_{\text{ср}}$, $A_{\text{макс}}$ /мкВ);
- Площадь М-ответа ($S/\text{мВ} \cdot \text{мс}$).

2.4 Анализ походки

Анализ походки заключался в анализе изменения положения разных отделов стопы в разные фазы шага. Для этого осуществлялась видеозапись ходьбы при положении камеры в плоскости опорной поверхности с частотой 240 кадров в секунду, т.е. восьмикратным замедлением. Видеозапись осуществлялась сзади и сбоку. На стопе были установлены маркеры в следующих областях: сзади – центр пяточной кости, центр ахиллова сухожилия на линии, соединяющей вершины медиальной и латеральной лодыжек, центр голени в нижней трети; сбоку – центр бугра пяточной кости, бугристость ладьевидной кости, медиальная лодыжка, центр головки I плюсневой кости. При анализе видеозаписи анализировалось положение заднего отдела стопы перед переносом (конец фазы передачи перед отталкиванием переднего отдела), а также наличие прогиба на уровне среднего отдела в середине периода опоры (фаза падения). Варианты интерпретации положения заднего и среднего отдела стопы представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Критерии оценки положения заднего и среднего отделов стопы при анализе походки

Фаза шага		Положение заднего отдела стопы			Положение среднего отдела стопы
Пережат через передний отдел стопы	Фаза падения	-			прогиб/ коллапс на уровне среднего отдела
	Фаза передачи	варусное	нейтральное	вальгусное	-

Примеры оценки положения заднего и среднего отделов стопы при анализе походки приведены на рисунке 2.19.



Рисунок 2.19. Пример оценки положения заднего и среднего отделов стопы при анализе походки. А – оценка при выполнении съемки сбоку (красным цветом отмечен прогиб на уровне среднего отдела в фазу падения); Б – красным цветом отмечено положение заднего отдела стоп в фазу передачи.

Как можно увидеть на рисунке 2.19, коллапс на уровне среднего отдела стопы отмечается при выстраивании маркеров в области пяточной – ладьевидной – I плюсневой кости на одной линии или с образованием угла, открытого кверху. Вальгус заднего отдела стопы отмечается при образовании тремя маркерами сзади угла, открытого латерально.

2.5 Определение силы трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием

Для оценки силы трехглавой мышцы голени был сконструирован динамометр, определяющий величину усилия при активном подошвенном сгибании стопы. При этом, пациент находился в положении сидя, в области коленного сустава фиксировалась лента, которая другим своим концом прикреплялась к тензодатчику динамометра, фиксирующего силу, направленную на растяжение (рисунок 2.20).



Рисунок 2.20. Методика определения силы трехглавой мышцы голени.

Как видно на рисунке 2.20, для оценки трехглавой мышцы голени фиксировалось пиковое значение динамометра при максимальном активном подошвенном сгибании стопы. Измерение силы трехглавой мышцы голени производилось трехкратно на каждой конечности и рассчитывалось среднее арифметическое также для каждой конечности.

2.6 Статистическая обработка полученных данных

2.6.1 Предварительный расчет размера выборки в исследовании

Для проведения сравнительного анализа параметров в зависимых и независимых выборках (Т- и Z- тесты), а также при одновыборочном анализе, при величине минимально интересующего размера эффекта (δ) на уровне 0,5, соотношении размеров выборок 1:1 и вероятности ошибки I рода (α) – 0,05 и минимальной мощности выборки – 80% (0,8), минимальный размер выборки составил – 27 и 51 соответственно (рисунок 2.21).

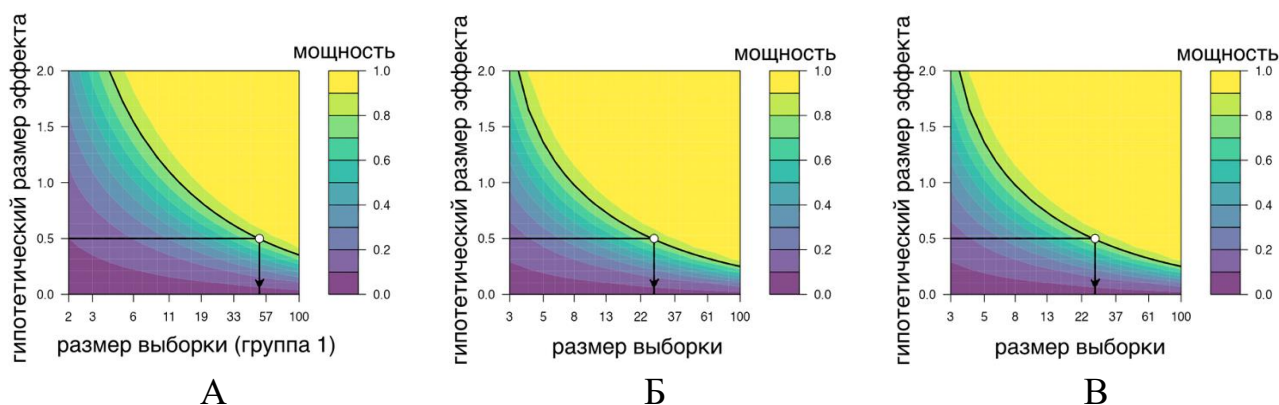


Рисунок 2.21. Графическое изображение расчета размера выборки в несвязанных выборках (А), связанных выборках (Б) и одновыборочных исследованиях (В).

График мощности показывает, как чувствительность теста изменяется в зависимости от гипотетического размера эффекта и размера выборки. По мере увеличения размеров выборки меньшие размеры эффекта (δ) становятся надежно обнаруживаемыми. И наоборот, если для исследования достаточно выявления больших размеров эффекта, необходимы меньшие размеры выборки. Сплошная черная кривая на контурном графике показывает комбинации размера выборки/размера эффекта с мощностью 0,8.

В зависимости от величины выявляемого эффекта (δ), размер выборки мог варьировать (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Определение минимального размера выборки при разной мощности (Statistical Power) и проведении двустороннего теста (Two-tailed test) в зависимости от размера выявляемого эффекта ($\alpha = 0,05$)

Истинный размер эффекта	Размер выборки								
	Мощность (1- β)			Мощность (1- β)			Мощность (1- β)		
	70%	80%	90%	70%	80%	90%	70%	80%	90%
	одна выборка			несвязанные выборки			связанные выборки		
$\delta=0,3$	71	90	119	139	176	235	71	90	119
$\delta=0,4$	41	52	68	79	100	133	41	52	68
$\delta=0,5$	27	34	44	51	64	86	27	34	44
$\delta=0,6$	20	24	32	36	45	60	20	24	32

Как можно увидеть из таблицы 2.5, чем более значимый эффект требовалось выявить, тем меньший размер выборки для этого требовался. При вероятности совершить ошибку I рода (α) в 5%, вероятность совершить ошибку II рода (β) зависит от размера выявляемого эффекта. Таким образом, в зависимости от величины определяемого эффекта при проведении статистического анализа использовались различные по количеству наблюдений выборки.

2.6.2 Общие подходы в обработке данных

Во многих исследованиях в рамках настоящей работы распределение признаков отличалось от нормального, в связи с этим были использованы непараметрические критерии статистического анализа (Т- и Z-тесты).

Учитывая определенное количество выборок с ненормальным распределением, мера среднего и дисперсия описывались как медиана, первый и третий квартили – Me (Q_1 ; Q_3).

При определении различий в связанных группах использовался Т-критерий Wilcoxon, при большом размере выборки выполнялось преобразование критерия в величину Z.

При определении различий в несвязанных группах использовался U-критерий Mann-Whitney или тест Brunner-Munzel для двух групп и H-критерий Kruskal-Wallis для большего количества групп.

При определении различий категориальных признаков использовался критерий χ^2 Pearson.

Для определения наличия связей между исследуемыми параметрами использовались коэффициенты корреляции Spearman (ρ) и Pearson (r). Силу связи характеризовали следующие значения коэффициента корреляции ($0,01 < \rho/r \leq 0,29$ – слабая связь, $0,30 < \rho/r \leq 0,69$ – умеренная связь, $0,70 < \rho/r \leq 1,00$ – сильная связь). Положительное или отрицательное значение коэффициентов характеризовало положительную или отрицательную связь соответственно.

Уровень значимости критериев определялся при вероятности ошибки в 5 и 1% случаев.

Вычисление диагностической значимости проверяемых тестов и моделей заключалось в расчете чувствительности и специфичности, построении ROC-кривых и вычислении площади под кривой (AUC).

Оценка характера взаимного влияния критериев производилась построением линейной или квадратичной регрессионной модели для непрерывных данных и Лог-линейной регрессии для категориальных данных.

С целью сегментирования выборки по исследуемым параметрам на однородные группы был применен алгоритм кластеризации k-средних. Оптимальное количество кластеров определялось с помощью «метода локтя» и Gap-statistic.

КЛИНИКО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРАМЕТРОВ СТОП У ПАЦИЕНТОВ С ПЛОСКОСТОПИЕМ

3.1 Оценка формы стопы у пациентов с плоскостопием

Оценка формы стопы на основании анализа клинических параметров стопы является первым этапом обследования пациентов с плоскостопием. В рамках настоящего исследования с учетом проведения кросс-секционного исследования было проведено обследование 641 пациента. На основании клинической диагностики плоскостопия по основным параметрам формы стоп было отобрано 506 пациентов, из них с ригидным плоскостопием – 367 детей, с мобильным – 139.

3.1.1 Клиническая диагностика плоскостопия

Характеристика основных клинических параметров формы стоп у детей с плоскостопием представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Клинические параметры формы стопы у детей с плоскостопием (n=506)

Параметр	Ригидное плоскостопие (n=367)	Мобильное плоскостопие (n=139)	Значимость*
вальгус заднего отдела/°	16,80 (12,10; 19,70)	15,60 (13,30; 21,03)	p=0,820
клинический угол свода/°	125,75 (120,33; 131,55)	135,70 (128,48; 139,77)	p=0,000
подометрический индекс Фридланда	24,40 (23,30; 25,50)	25,05 (23,33; 26,33)	p=0,950
* тест Brunner-Munzel			

Анализ представленных в таблице 3.1 данных показал, что выявлены значимые различия в величине снижения свода стопы (клинический угол свода) в обеих группах пациентов как с ригидным, так и мобильным плоскостопием. По остальным клиническим параметрам стоп значимых различий отмечено не было.

Для определения количества сочетаний, используемых для диагностики плоскостопия параметров, была построена диаграмма UpSet (рисунок 3.1).

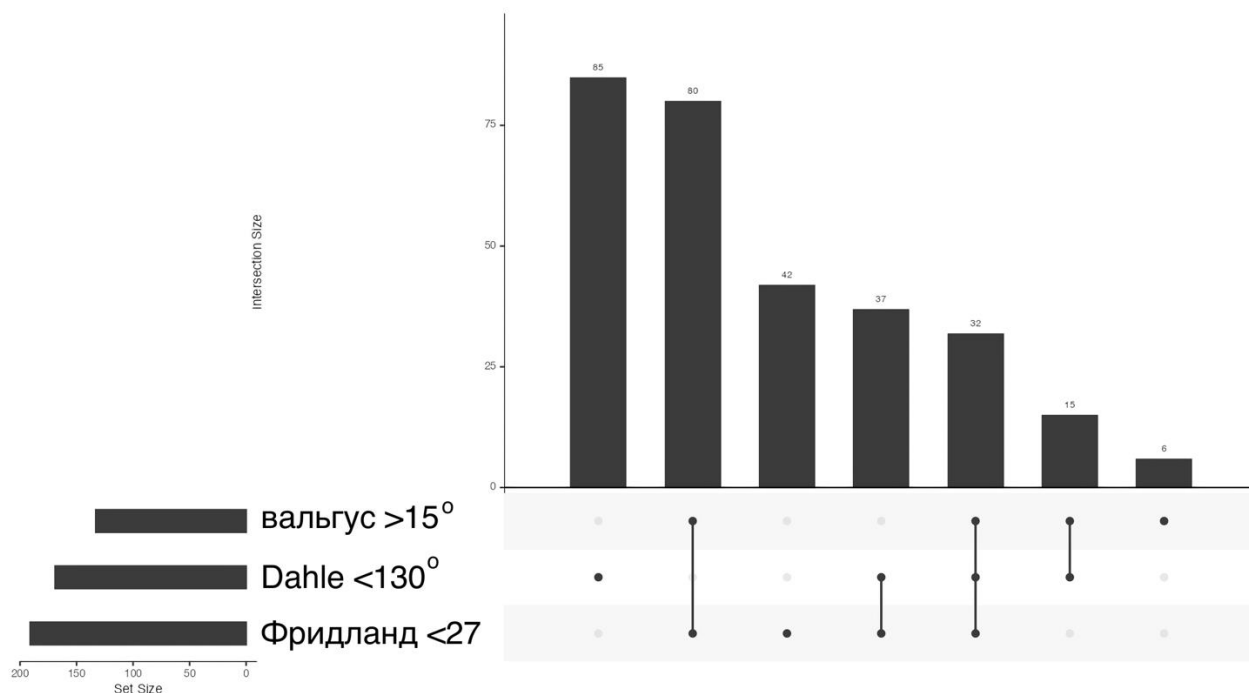


Рисунок 3.1 Диаграммы UpSet сочетаний по исследуемым клиническим параметрам плоскостопия у детей (N=297).

Как показано на рисунке 3.1, пересечение всех трех используемых критериев плоскостопия встречалось достаточно редко. Изолированные критерии плоскостопия встречались со следующей частотой: угол Dahle $<130^\circ$ отмечен в 28,1% случаев; индекс Фридланда <27 – в 13,9% случаев; вальгус заднего отдела стопы $>15^\circ$ – в 2%. Сочетание клинических параметров стопы наблюдалось следующим образом: угол Dahle $<130^\circ$ в сочетании с индексом Фридланда <27 – 12,3% случаев, угол Dahle $<130^\circ$ и вальгус $>15^\circ$ – 5%, а индекс Фридланда <27 в сочетании с вальгусом заднего отдела $>15^\circ$ – 26,5%. Сочетание все критериев встречалось в 10,6% случаев. Чаще всего плоскостопие характеризовалось снижением свода (угол Dahle $<130^\circ$) – 28,1%. На втором месте по частоте – уплощение стопы (индекс Фридланда <27) и вальгус заднего отдела – 26,5%.

Таким образом, каждый из используемых клинических признаков имеет самостоятельное значение. В популяции у пациентов с плоскостопием преобладало снижение свода, однако вальгус заднего отдела стопы имел наибольшее количество сочетаний с другими клиническими параметрами.

3.1.2 Оценка мобильности суставов предплюсны у детей с плоскостопием

Результаты оценки мобильности суставов предплюсны с использованием тестов, имеющих бинарную систему оценки (положительный/отрицательный) представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Процентное соотношение положительных и отрицательных значений тестов мобильности суставов предплюсны

Тесты мобильности суставов предплюсны		Мобильное плоскостопие n=139	Тарзальные коалиции		Плоскостопие с ретракцией трехглавой мышцы голени n=202
			ПЛК n=112	ТПК n=46	
тест «вставания на цыпочки»	положительный	0	75/67,0%	40/87,0%	10/4,9%
	отрицательный	108/100%	37/33,0%	6/13,0%	192/95,0%
тест Jack	положительный	2/1,9%	14/12,5%	7/15,2%	7/3,5%
	отрицательный	106/98,1%	98/87,5%	39/84,8%	195/96,5%
оценка пассивной инверзии и эверзии стопы	положительный	0	88/78,6%	43/93,5%	35/23,3%
	отрицательный	108/100%	24,21,4%	3/6,5%	167/88,6%
тест Silfverskiöld	положительный	0	2/1,8%	1/ 2,2%	7/3,5%
	отрицательный	108/100%	110/98,2%	45/97,8%	195/96,5%

Как видно из таблицы 3.2, практически все пациенты с мобильным плоскостопием имели нормальную мобильность суставов предплюсны. Также большинство пациентов (98,2% пациентов с пяточно-ладьевидными коалициями, 97,8% пациентов с таранно-пяточными коалициями, 96,5% пациентов с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени и 100% пациентов с мобильным плоскостопием) имели отрицательный результат теста Silfverskiöld, что свидетельствует о преимущественной ретракции икроножной мышцы. Стоит отметить, что тест вставания на цыпочки был отрицательным у 33% пациентов с пяточно-ладьевидными коалициями, 13% пациентов с таранно-пяточными коалициями. Кроме того, положительный тест Jack также редко встречался во всех группах пациентов (1,9% у пациентов с мобильным плоскостопием, 12,5% у пациентов с пяточно-ладьевидными коалициями, 15,2% –

с таранно-пяточными коалициями и 3,5% у детей с плоскостопием с ретракцией трехглавой мышцы голени). Исходя из полученных данных, был произведён расчет диагностической значимости известных тестов мобильности суставов предплюсны. Полученные результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Диагностическая значимость известных тестов мобильности стопы (n=506)

Тесты мобильности	Чувствительность	Специфичность
тест «вставания на цыпочки»	74,8%	95,1%
тест Jack	14,6%	98,15
оценка пассивной инверзии и эверзии стопы	93,5%	88,6%

Как можно увидеть в таблице 3.3, из всех известных тестов оценки мобильности суставов предплюсны наименьшей диагностической значимостью обладал тест Jack, поскольку наряду с высокой специфичностью, он имел низкую чувствительность.

Таким образом, самыми ценными из клинических тестов оценки мобильности суставов предплюсны, исходя из значений чувствительности и специфичности, являются тест «вставания на цыпочки» и «оценка пассивной инверзии и эверзии стопы».

3.1.3 Новые клинические тесты мануальной оценки мобильности суставов предплюсны

С целью повышения точности клинической оценки движений в суставах предплюсны, а также возможности селективного определения мобильности суставов среднего и заднего отделов стопы, были разработаны новые клинические тесты оценки мобильности стопы, на ряд из которых получены патенты Российской Федерации.

3.1.3.1 Определение пяточно-ладьевидной мобильности и результаты оценки теста

Для клинической диагностики пяточно-ладьевидных коалиций был разработан новый диагностический тест – «Оценка пяточно-ладьевидной мобильности» (патент РФ на изобретение «Способ определения показаний к рентгенологическому исследованию при диагностике пяточно-ладьевидных коалиций» № 2606336, 10.01.2017). Схема выполнения теста приведена на рисунке 3.2.

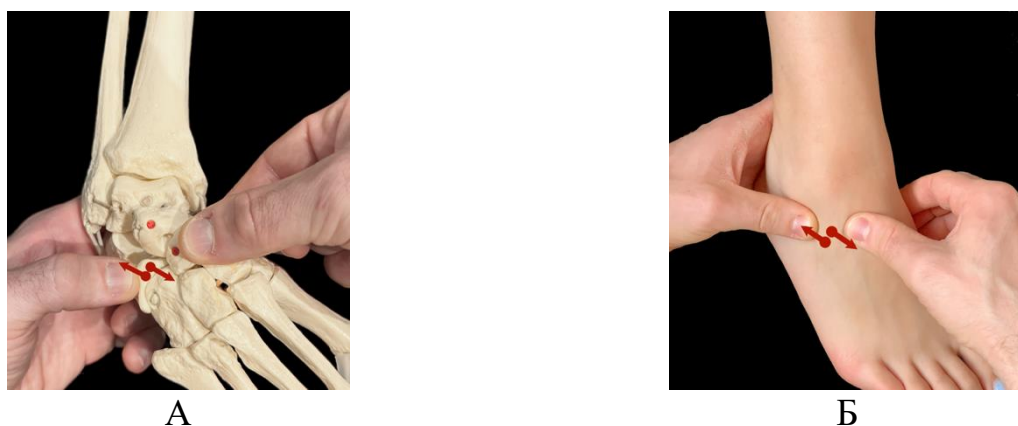


Рисунок 3.2. Схема оценки пяточно-ладьевидной мобильности. А – схема расположения рук и направления движений на макете стопы; Б – схема расположения рук и направления движений на стопе пациента.

Как видно на рисунке 3.2, исследователь помещает I палец одной кисти на область переднего отростка пяточной кости, вторая кисть фиксирует ладьевидную кость. Путем надавливания I пальцем кисти на область переднего отростка пяточной кости оценивается пяточно-ладьевидная мобильность. При отсутствии мобильности тест считается положительным, при наличии мобильности – отрицательным. Для оценки диагностической значимости указанного теста была проведена его оценка на группе пациентов с плоскостопием ($n=63$). Из них – пяточно-ладьевидные коалиции встречались в 28 случаях. Данные исследуемого теста приведены в таблице сопряженности (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Показатели положительных и отрицательных значений теста «оценка пяточно-ладьевидной мобильности» (n=63)

Результат теста	Пяточно-ладьевидная коалиция присутствует	Пяточно-ладьевидная коалиция отсутствует	Всего
Тест положительный	27	5	32
Тест отрицательный	1	30	31
Всего	28	35	63

Как можно увидеть из таблицы 3.4, всего в одном случае тест был отрицательным при наличии пяточно-ладьевидной коалиции. Также в 5 случаях без пяточно-ладьевидной коалиции был положительный результат теста. Таким образом, чувствительность теста составила 96,43%; специфичность – 85,71%. Также стоит отметить, что у 9 пациентов с пяточно-ладьевидными коалициями не было значимого ограничения инверзии и эверзии стопы, то есть ограничение пяточно-ладьевидной мобильности являлось единственным специфическим клиническим проявлением пяточно-ладьевидной коалиции наряду с болевым синдромом и деформацией стопы. У одного пациента при помощи нового теста была выявлена пяточно-ладьевидная коалиция до ее оссификации, то есть, до развития специфических рентгенологических проявлений. Клинический пример приведен на рисунке 3.3.



А



Б

Рисунок 3.3. Клинический пример резекции хрящевой пяточно-ладьевидной коалиции. А – вид коалиции до выполнения резекции; Б – вид после выполнения резекции коалиции.

На рисунке 3.3А видно, что пяточно-ладьевидная коалиция была представлена лишь хрящевой тканью (линия желтого цвета), головка таранной кости отмечена стрелкой красного цвета. После резекции коалиции были

визуализированы ядра окостенения (рисунок 3.3Б), которые обуславливали бы ее дальнейшую оссификацию. При оценке результатов данного теста разными исследователями был получен процент общего согласия – 95,7%. Значение каппы Коэна составило 0,96 ($n=41$, $N_{\text{экзаменаторов}}=2$).

3.1.3.2 Определение трансляции пяточной кости и результаты оценки теста

Для определения мобильности подтаранного сустава нами был разработан «тест оценки трансляции пяточной кости» (заявка на изобретение №20215126454, 24.09.2025). Схема выполнения теста приведена на рисунке 3.4.

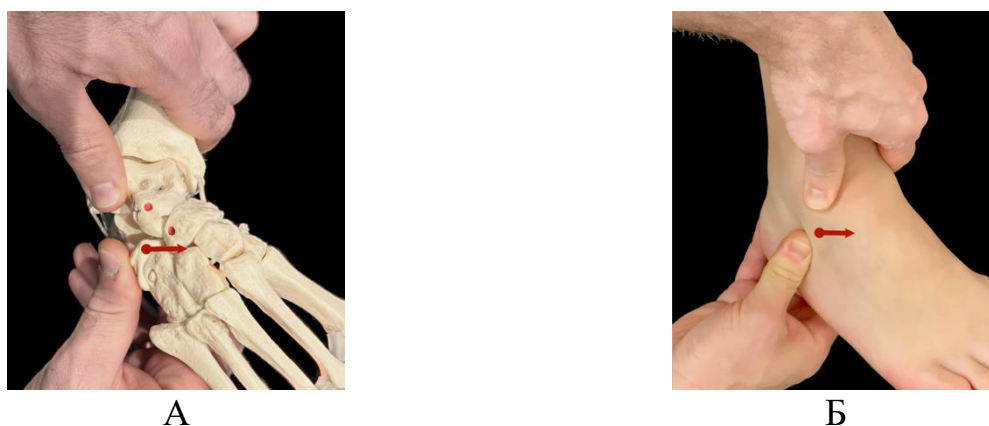


Рисунок 3.4. Схема оценки трансляции пяточной кости. А – схема расположения рук и направления движений на макете стопы; Б – схема расположения рук и направления движений на стопе пациента.

Как можно увидеть на рисунке 3.4, мобильность подтаранного сустава оценивается за счет определения трансляции пяточной кости на подтаранном суставе. Оценка результатов теста также является бинарной. При отсутствии трансляции пяточной кости тест считается положительным, при наличии трансляции – отрицательным. Для оценки диагностической значимости данного теста была проведена оценка на группе пациентов с таранно-пяточными и пяточно-ладьевидными коалициями ($n=54$). Из них – таранно-пяточные коалиции встречались в 23 случаях. Выбор для оценки результатов теста пациентов с тарзальными коалициями обусловлен тем, что у пациентов с таранно-пяточными коалициями движения в подтаранном суставе значимо ограничены или отсутствуют, а у пациентов с пяточно-ладьевидными коалициями, несмотря на

ограничения инверзионных и эверзионных движений, мобильность подтаранного сустава часто присутствует. Результаты оценки при помощи данного теста приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Показатели положительных и отрицательных значений теста «определение трансляции пяточной кости» (n=54)

Результат теста	Таранно-пяточная коалиция присутствует	Пяточно-ладьевидная коалиция присутствует	Всего
Тест положительный	17	4	21
Тест отрицательный	6	27	33
Всего	23	31	54

Как можно увидеть из таблицы 3.5, количество ложноотрицательных и ложноположительных результатов с использованием данного теста выше по сравнению с предыдущим тестом. Исходя из полученных данных, чувствительность данного теста составила 73,9%, специфичность – 87,1%. При оценке результатов данного теста разными исследователями каппа Коэна составила 0,79 (n=34, N_{экзаменаторов}=2).

3.1.3.3 Определение мобильности подтаранного сустава на основании оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы и результаты оценки теста

Для определения мобильности подтаранного сустава был разработан тест «оценка изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы» (заявка на изобретение №20215126453, 24.09.2025). Схема выполнения теста приведена на рисунке 3.5.

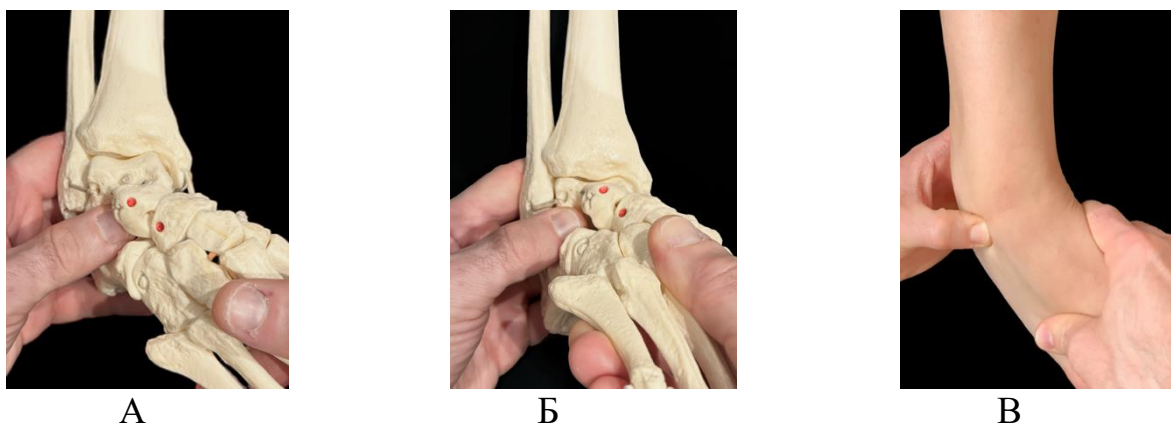


Рисунок 3.5. Схема оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы. А, Б – схема расположения рук на макете стопы при осуществлении инверзии (А) и эверзии (Б); В – схема расположения рук на стопе пациента.

Как можно увидеть на рисунке 3.5, экзаменатор при выполнении пассивной инверзии и эверзии помещает I палец одноименной кисти в область тарзального синуса. При наличии мобильности в подтаранном суставе ощущается изменение размеров тарзального синуса (тест отрицательный). При ограничении мобильности подтаранного сустава размеры тарзального синуса не изменяются (тест положительный). Для оценки диагностической значимости данного теста было проведено исследование, в которое был включен 31 пациент с плоскостопием (62 стопы). Из них, в 21 случае были отмечены таранно-пяточные коалиции. Полученные данные приведены в матрице ошибок (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Показатели положительных и отрицательных значений теста «Определение мобильности подтаранного сустава на основании оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы» (n=62)

Результат теста	Таранно-пяточная коалиция присутствует	Таранно-пяточная коалиция отсутствует	Всего
Тест положительный	15	5	20
Тест отрицательный	6	36	42
Всего	21	41	62

Как видно из таблицы 3.6, в 6 случаях у пациентов с таранно-пяточными коалициями был отмечен отрицательный тест, что может свидетельствовать о резидуальной подвижности подтаранного сустава у пациентов с фиброзными

таранно-подошвенными коалициями. Также в 5 случаях положительного теста таранно-пяточная коалиция отсутствовала. Таким образом, чувствительность данного теста составила 71,4%; специфичность – 87,8%. При оценке результатов данного теста разными исследователями был получен процент общего согласия – 81,6%. Значение каппы Коэна составило 0,80 ($n=29$, $N_{\text{экзаменаторов}}=2$).

3.1.3.4 Мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава и результаты оценки теста

Для определения величины инверзионного положения подтаранного сустава разработан тест «мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава» (заявка на изобретение №20215126455, 24.09.2025). Схема мануальной оценки максимального инверзионного положения подтаранного сустава приведена на рисунке 3.6.

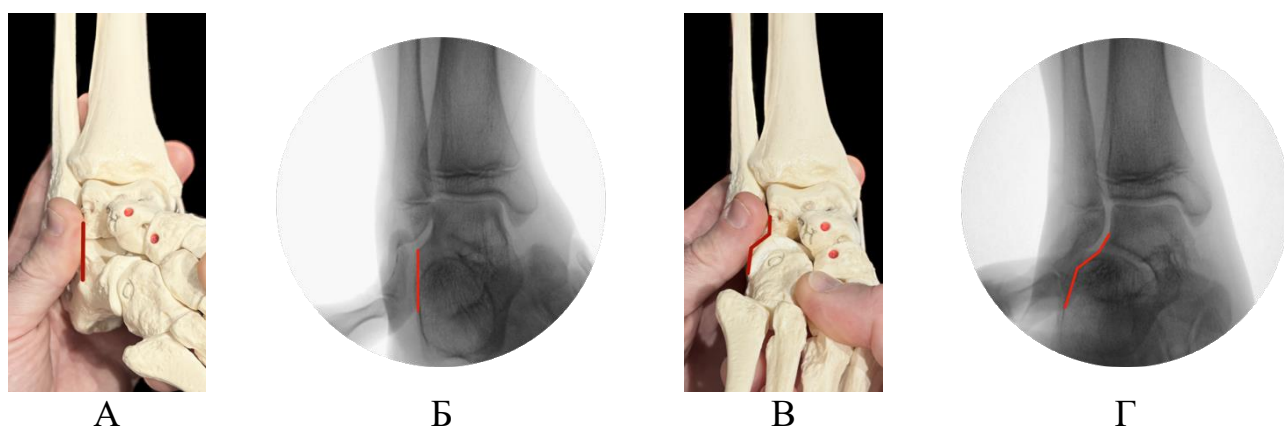


Рисунок 3.6. Схема мануальной оценки инверзионного положения подтаранного сустава. А, Б – положение рук на модели стопы и рентгенограмме при достижении максимальной инверзии подтаранного сустава (нулевой дивергенции); В, Г – положение рук на модели стопы и рентгенограмме при ограничении инверзии подтаранного сустава.

На рисунке 3.6 показано, что для определения максимального инверзионного положения подтаранного сустава экзаменатор помещает I палец одноименной кисти кпереди от латеральной лодыжки, тем самым палец располагается над областью латерального отростка таранной кости. При положении максимальной инверзии стопы I палец экзаменатора смещается

дистальнее на область пяточной кости. При достижении на подтаранном суставе положения максимальной инверзии, то есть расположения пяточной кости параллельно таранной кости (нулевой или отрицательной дивергенции), наружный край пяточной кости пальпируется на одном уровне с латеральным отростком таранной кости или медиальнее от него (рисунок 3.6А, Б). При ограничении инверзии подтаранного сустава (невозможности выведения в положение нулевой дивергенции), наружный край пяточной кости пальпируется латеральнее от таранной кости. Исходя из того, что получение референтных значений по данному тесту затруднительно (состояние, которое выявляется тестом), получение данных диагностической значимости не представляется возможным. Однако, при оценке результатов данного теста разными исследователями был получен высокий процент общего согласия (положительные и отрицательные значения теста между разными экзаменаторами) – 89,4%. Значение каппы Коэна составило 0,87 ($n=43$, $N_{\text{экзаменаторов}}=2$). Таким образом, указанный тест имеет высокие показатели межэкспертной согласованности, что снижает вероятность случайного совпадения результатов.

3.1.4 Оценка структуры сухожилия задней большеберцовой мышцы

При выполнении ультрасонографического исследования пациентов с плоскостопием не было выявлено нарушений структуры сухожилия. Из 36 обследований в 8 случаях были выявлены минимальные явления синовита (рисунок 3.7).

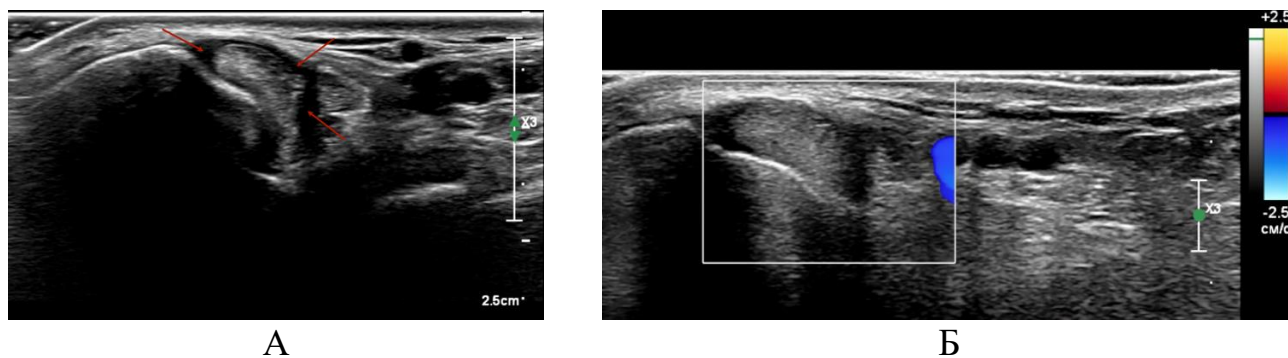


Рисунок 3.7. Ультрасонографические признаки синовита в области сухожилия задней большеберцовой мышцы. А – В-режим; Б – дуплексное сканирование.

На рисунке 3.7А видно, что несмотря на паратендинальное скопление жидкости (отмечено красными стрелками), в данной зоне не отмечается усиления кровотока (рисунок 3.7Б).

Для оценки влияния выраженности деформации стопы и ретракции трехглавой мышцы голени составлена модель биномиальной логистической регрессии. Зависимой переменной был синовит сухожилия задней большеберцовой мышцы, ковариатом – вальгус заднего отдела, фактором – ретракция трехглавой мышцы голени. Данные логистической регрессии приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Коэффициенты модели биномиальной логистической регрессии по параметру «синовит сухожилия задней большеберцовой мышцы» (n=36)

Предиктор	Вес	SE	Z	p
Константа	1,3536	1,758	0,770	0,441
вальгус заднего отдела	-0,0248	0,104	-0,238	0,812
ретракция трехглавой мышцы голени:				
нет – есть	-0,9064	0,993	-0,913	0,361
* Веса представляют собой логарифмические шансы "синовит = нет" vs "синовит = есть"				

Как можно увидеть в таблице 3.7, показатели вальгуса заднего отдела и ретракции трехглавой мышцы голени имеют отрицательные веса, однако эти данные не имеют статистической значимости. Характер влияния исследуемых факторов на вероятность синовита сухожилия задней большеберцовой мышцы приведен на рисунке 3.8.

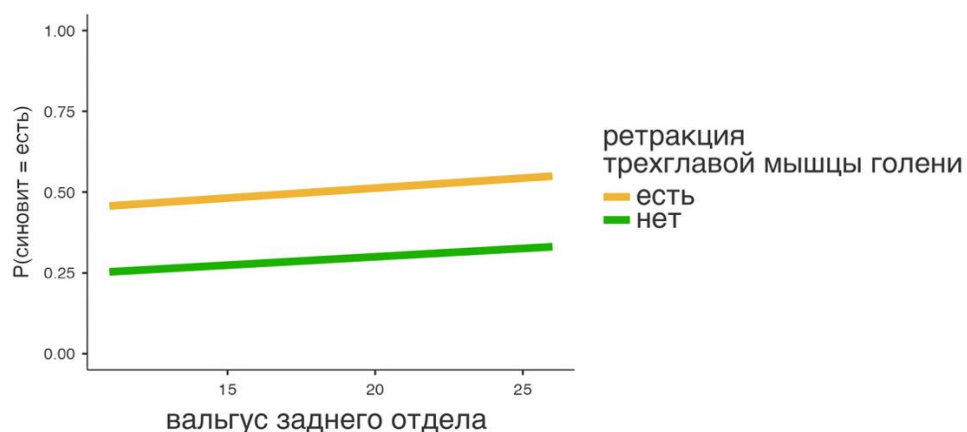


Рисунок 3.8. График взвешенных предельных средних по параметрам «вальгус заднего отдела» и «ретракция трехглавой мышцы голени».

Как можно увидеть на рисунке 3.8, вероятность синовита сухожилия задней большеберцовой мышцы незначительно увеличивается с увеличением вальгуса заднего отдела стопы и ограничением тыльного сгибания стопы. Однако, учитывая отсутствие статистической значимости, нельзя считать достоверной связь между явлениями синовита сухожилия задней большеберцовой мышцы и выраженностью деформации стопы, а также ретракцией трехглавой мышцы голени. Кроме того, во всех случаях выявления свободной жидкости в паратеноне сухожилия задней большеберцовой мышцы, при оценке кровотока не было выявлено его усиления.

3.1.5 Оценка ретракции трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием

Распределение детей с ригидным плоскостопием, имеющих ретракцию трехглавой мышцы голени, в зависимости от количества ретрагированных мышц, приведено в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Средняя величина тыльного сгибания стопы при разных типах ретракции трехглавой мышцы голени у пациентов с ригидным плоскостопием (n=112)

Показатель	Ретракция икроножной мышцы	Ретракция икроножной и камбаловидной мышцы
Величина тыльного сгибания стопы при разогнутом коленном суставе/°	17,80 (13,00; 25,00)	15,63 (11,11; 26,72)
Величина тыльного сгибания стопы при сгибании коленного сустава/°	29,92 (21,03; 31,54)	14,69 (12,94; 24,55)

Как можно увидеть в таблице 3.8, значимые различия ($p < 0,05$) наблюдались в величине тыльного сгибания стопы у пациентов с ретракцией икроножной мышцы при разном положении коленного сустава. Критерием ретракции трехглавой мышцы голени является ограничение тыльного сгибания стопы до 10° [53]. Как видно из таблицы 3.8, у всех пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени величины тыльного сгибания стопы превышала 10° . Данная особенность связана с биомеханикой суставов предплюсны – тыльное и подошвенное сгибание стопы осуществляется не только в голеностопном суставе, но также в

подтаранном суставе и суставе Шопара. У пациентов с плоскостопием тыльное сгибание стопы увеличивается за счет перитаряльного движения - увеличения эверзии в суставах предплюсны. Именно поэтому даже при ретракции трехглавой мышцы голени тыльное сгибание стопы при плоскостопии чаще всего превышает 10° (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9. Оценка тыльного сгибания стопы. А – методика выполнения теста; Б – рентгенограмма стопы при осуществлении тыльного сгибания стопы. Линиями отмечены оси таранной и I плюсневой кости. Нарушение соотношений этих линий свидетельствует о перитаряльном движении.

Как видно на рисунке 3.9А, тыльное сгибание стопы превышает 10° несмотря на ретракцию трехглавой мышцы голени. Это связано с перитаряльным движением – смещением костей предплюсны вокруг таранной кости (рисунок 3.9Б). Для того чтобы оценить истинное тыльное сгибание стопы, необходимо стабилизировать суставы предплюсны. V.Mosca с соавторами рекомендует осуществлять тыльное сгибание стопы при удерживании подтаранного сустава в нейтральном положении [147]. Удержание подтаранного сустава в нейтральном положении не является унифицированной методикой и зависит от личных предпочтений врача. Также на практике для стабилизации суставов предплюсны при осуществлении тыльного сгибания стопы производится супинация переднего отдела. Различные варианты стабилизации суставов предплюсны представлены на рисунке 3.10.



А



Б

Рисунок 3.10. Варианты стабилизации суставов предплюсны при осуществлении тыльного сгибания стопы: А – удержание подтаранного сустава в нейтральном положении; Б – супинация переднего отдела.

Оценка истинного тыльного сгибания стопы имеет ряд сложностей. Методика удержания подтаранного сустава в нейтральном положении (рисунок 3.10А) не имеет конкретного определения и четких указаний по выполнению данного теста. При супинации переднего отдела (рисунок 3.10Б) суставы предплюсны удерживаются не в нейтральном положении, а в положении инверзии. Исходя из указанных особенностей, нами был разработан новый диагностический тест для оценки истинного тыльного сгибания стопы (патент РФ на изобретение «Способ определения укорочения ахиллова сухожилия при продольном плоскостопии» №2669863, 16.10.2018). В данном клиническом тесте стабилизация суставов предплюсны производилась за счет использования механизма «лебедки» J.H. Hicks. Выполнение пассивного тыльного сгибания стопы осуществлялось при пассивном максимальном разгибании I пальца стопы (рисунок 3.11). Критерием ретракции трехглавой мышцы голени также являлось ограничение тыльного сгибания стопы менее 10°.



А



Б

Рисунок 3.11. Оценка тыльного сгибания стопы с пассивным разгибанием I пальца. А – методика выполнения теста; Б – рентгенограмма стопы при осуществлении тыльного сгибания стопы с пассивным разгибанием I пальца. Линиями отмечены оси таранной и I плюсневой кости.

Как можно увидеть на рисунке 3.11, правильное соотношение линий осей таранной и I плюсневой кости свидетельствует о нейтральном положении суставов предплюсны.

Для определения диагностической значимости клинических тестов оценки тыльного сгибания стопы было проведено исследование на группах пациентов с мобильным плоскостопием ($n=48$) и плоскостопием с ретракцией трехглавой мышцы голени ($n=54$). Тыльное сгибание стоп у пациентов выполнялось в следующих вариантах:

- изолированное тыльное сгибание стопы;
- тыльное сгибание стопы + удержание подтаранного сустава в нейтральном положении;
- тыльное сгибание стопы + супинация переднего отдела;
- тыльное сгибание стопы + пассивное разгибание I пальца.

Осуществление тыльного сгибания стопы у всех пациентов в рамках данного исследования производилось при полном разгибании коленного сустава для выявления всех типов ретракции трехглавой мышцы голени. Показатели тыльного сгибания стоп у пациентов с плоскостопием приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Величина тыльного сгибания стопы при использовании различных тестов у детей плоскостопием (n=102)

Вариант оценки	Диагноз	
	Плоскостопие с ретракцией трехглавой мышцы голени	Мобильное плоскостопие
Изолированное тыльное сгибание стопы/°	15,85 (12,20; 20, 75) *	24,20 (20,70; 29,80)
Тыльное сгибание стопы + удержание подтаранного сустава в нейтральном положении/°	11,40 (8,63; 14,70) *	22,25 (18,20; 27,43)
Тыльное сгибание стопы + супинация переднего отдела/°	0,65 (-3,95; 3,38) *	15,30 (10,88; 19,53)
Тыльное сгибание стопы + пассивное разгибание I пальца/°	2,30 (-1,80; 5,90) *	16,20 (12,70; 20,30)
* p <0,05; тест Brunner-Munzel при сравнении с группой «мобильное плоскостопие»		

Из представленных в таблице 3.9 данных видно, что значимые различия в величине тыльного сгибания стоп между группами пациентов с мобильным плоскостопием и плоскостопием с укорочением трехглавой мышцы голени были отмечены при использовании всех вариантов выполнения тыльного сгибания стопы за исключением изолированного тыльного сгибания.

Также для оценки диагностической значимости данных клинических тестов был произведен расчет чувствительности и специфичности, выполнен ROC-анализ. Кроме того, была произведена оценка воспроизводимости исследуемых тестов. Для этого в исследовании указанных групп пациентов принимало участие 4 независимых экзаменатора. Графики различных вариантов оценки тыльного сгибания разными исследователями приведены на рисунке 3.12.

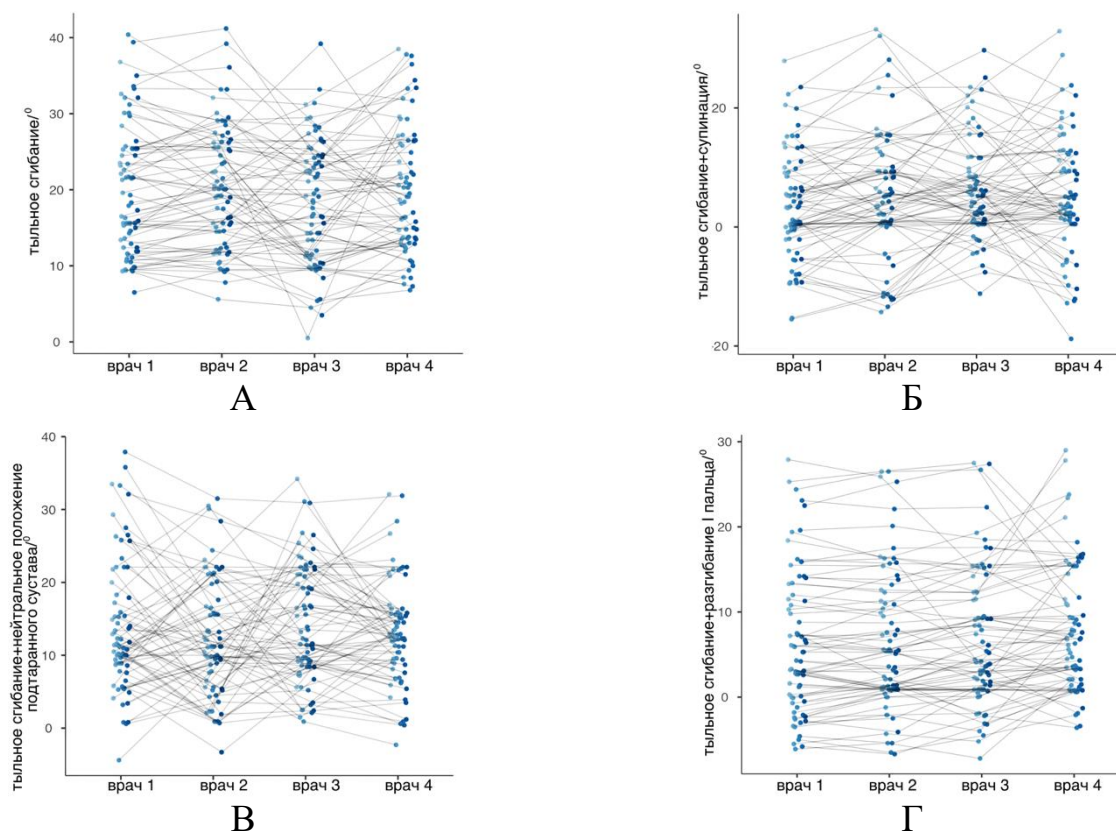


Рисунок 3.12. Графики различных вариантов оценки тыльного сгибания стопы: А – изолированное тыльное сгибание; Б – тыльное сгибание с супинацией переднего отдела стопы; В – тыльное сгибание с удержанием подтаранного сустава в нейтральном положении; Г – тыльное сгибание с пассивным разгибанием I пальца.

Как можно увидеть на рисунке 3.12, худшая воспроизводимость оценки тыльного сгибания стопы была отмечена при удержании подтаранного сустава в нейтральном положении (наибольшее количество пересекающихся линий, характеризующих степень тыльного сгибания, оцененную каждым исследователем). С другой стороны, оставшиеся варианты оценки тыльного сгибания стопы характеризовались лучшими показателями межэкспертной воспроизводимости. При этом, при оценке тыльного сгибания стопы с супинацией переднего отдела и пассивным разгибанием I пальца наибольшее количество согласованных оценок (параллельных ход линий характеризующих степень тыльного сгибания, оцененную каждым исследователем) наблюдалось при тыльном сгибании от 0 до 10° (диапазон, при котором чаще всего выявляется

ретракция трехглавой мышцы голени), что делает указанные тесты более ценными по сравнению с другими.

Воспроизводимость тестов оценивалась на основании расчета коэффициента межэкспертной надежности - ICC [95% CI]. Полученные данные приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Показатели диагностической значимости разных тестов для оценки величины тыльного сгибания стопы (n=102)

Вариант оценки	Показатель		ICC
	Чувствительность	Специфичность	
Изолированное тыльное сгибание стопы	64,2%	85,8%	0,922
Тыльное сгибание стопы + удержание подтаранного сустава в нейтральном положении	83,4%	81,2%	0,651
Тыльное сгибание стопы + супинация переднего отдела	93,1%	85,1%	0,801
Тыльное сгибание стопы + пассивное разгибание I пальца	96,1%	94,2%	0,918

Из таблицы 3.10 видно, что самым высоким показателем межэкспертной надежности обладал тест «изолированное тыльное сгибание стопы», однако данный тест имел самый низкий показатель чувствительности, что делает его наименее ценным в выявлении ретракции трехглавой мышцы голени. С другой стороны, тест «тыльное сгибание стопы + удержание подтаранного сустава в нейтральном положении» имеет наименьшее значение коэффициента межэкспертной надежности, поскольку отсутствуют четкие рекомендации по выполнению данного теста и каждый эксперт выполнял его исходя из личных предпочтений. Тест «тыльное сгибание стопы + супинация переднего отдела» имел удовлетворительный показатель межэкспертной надежности, но более низкое значение специфичности. Эта особенность может быть связана с тем, что супинация переднего отдела фиксирует подтаранный сустав в положении инверзии, что несколько уменьшает величину тыльного сгибания стопы и приводит к снижению специфичности данного теста. Максимальные значения

чувствительности и специфичности были отмечены у нового теста – «тыльное сгибание стопы + пассивное разгибание I пальца». Для сравнительного анализа диагностической ценности был проведен ROC-анализ, данные которого изображены на рисунке 3.13.

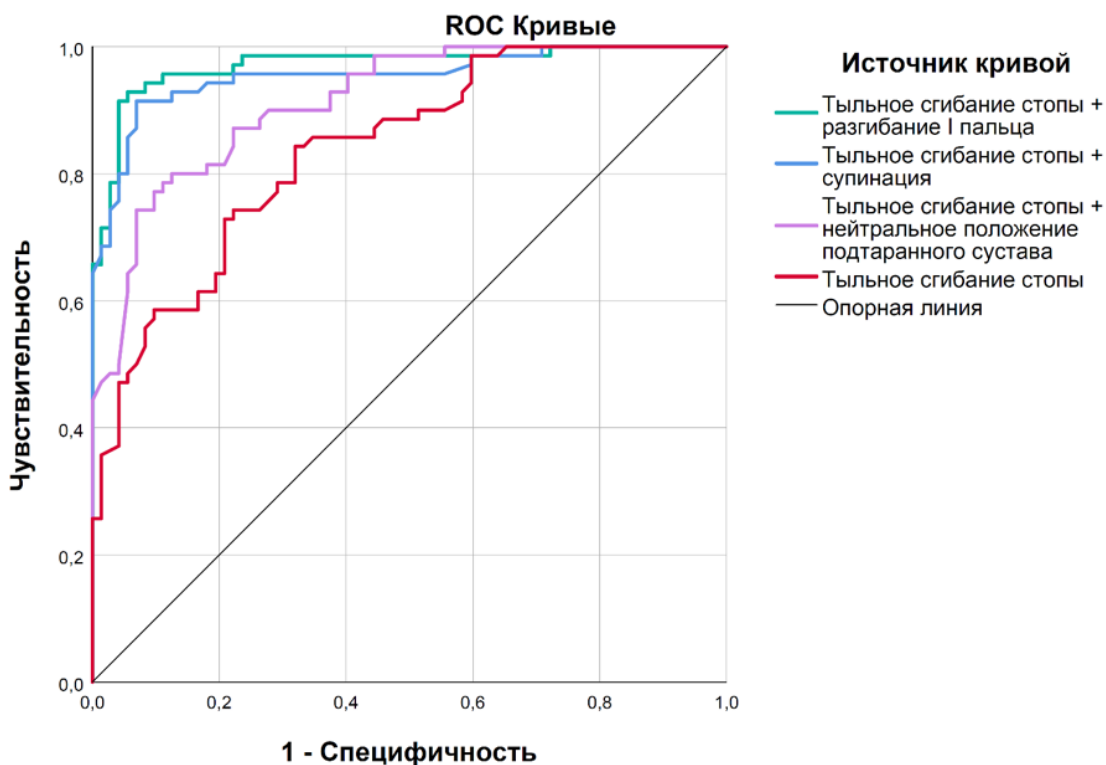


Рисунок 3.13. График ROC-анализа тестов для выявления ретракции трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием.

При расчёте площади под исследуемыми кривыми, изображенными на рисунке 3.13 (AUC – Area Under Curve), были получены следующие данные: AUC (изолированное тыльное сгибание стопы) = 0,701, AUC (тыльное сгибание стопы + удержание подтаранного сустава в нейтральном положении) = 0,792, что свидетельствует об удовлетворительном качестве признаков; AUC (тыльное сгибание стопы + супинация переднего отдела) = 0,954, AUC (тыльное сгибание стопы + пассивное разгибание I пальца) = 0,971, что свидетельствует о высоком качестве признаков. Исходя из полученных данных, новый клинический тест «тыльное сгибание стопы + пассивное разгибание I пальца» обладает оптимальным соотношением чувствительности, специфичности и межэкспертной надежности, что делает его ценным для диагностики плоскостопия с ретракцией трехглавой мышцы голени.

3.1.6 Сравнительный анализ тыльного сгибания стоп у пациентов с плоскостопием

При анализе данных величины тыльного сгибания стопы в разных вариантах и построении геометрического центра фигуры (центроида) у пациентов с мобильным плоскостопием, а также с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени были получены средние значения величины тыльного сгибания, разделяющие все наблюдения по геометрическому принципу (рисунок 3.14).

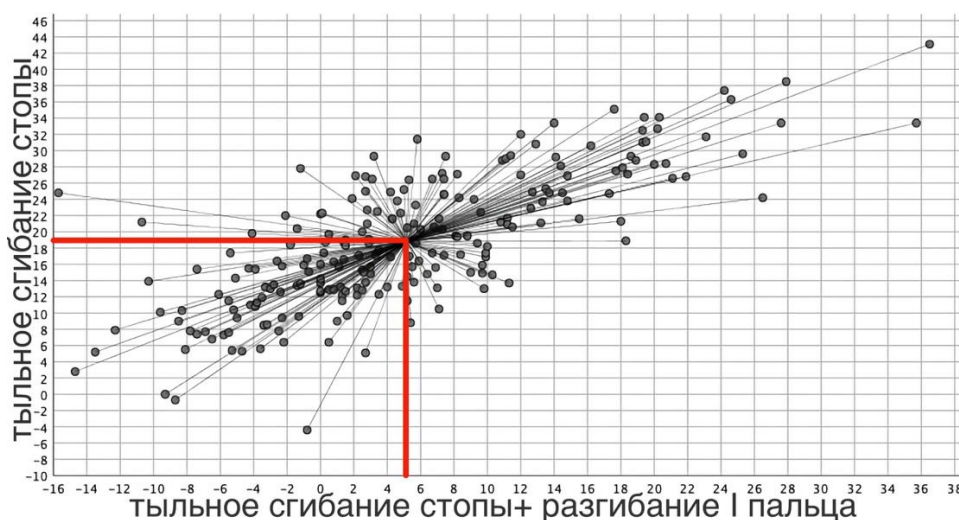


Рисунок 3.14. Точечная диаграмма величин тыльного сгибания стоп в разных вариантах с построением центроида и его проекцией на шкалу (n=217).

На рисунке 3.14 показано, что проекция центроида на величину тыльного сгибания стопы со стабилизацией суставов предплюсны составляет около 5° , что несколько ниже общепринятых значений в 10° , однако медиана среднего значения тыльного сгибания стоп со стабилизацией суставов предплюсны при ретракции трехглавой мышцы голени составила $4 (-1; 10)^\circ$, это позволяет предположить, что тыльное сгибание стопы со стабилизацией суставов предплюсны менее 5° является пороговым значением, определяющим ретракцию трехглавой мышцы голени.

Пациентам с плоскостопием производилась оценка тыльного сгибания стоп в различных вариантах (исходя из диагностической значимости различных клинических тестов для определения величины тыльного сгибания), были

использованы два варианта: изолированное тыльное сгибание стопы и тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца. Для топической характеристики ретракции трехглавой мышцы голени пациентам проводился тест Silfverskiöld. Данные величины тыльного сгибания у пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени и без нее при проведении теста Silfverskiöld представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Средняя величина тыльного сгибания стоп у пациентов с плоскостопием (n=112)

Варианты тыльного сгибания стопы	Трехглавая мышца голени		p*
	ретракция	без ретракции	
тыльное сгибание стопы (разгибание коленного сустава)/ °	15,9 (12,2; 20,8)	24,2 (20,7; 29,8)	<0,01
тыльное сгибание стопы (сгибание коленного сустава)/ °	36,1 (27,8; 39,4)	35,8 (31,8; 41,3)	0,09
тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца (разгибание коленного сустава)/ °	3,3 (-1,4; 6,7)	16,2 (12,7; 20,3)	<0,01
тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца (сгибание коленного сустава)/ °	25,2 (20,9; 28,9)	23,5 (19,7; 29,1)	0,14
* - тест Brunner-Munzel			

Как можно увидеть в таблице 3.11, разница величины тыльного сгибания стоп при всех вариантах проведения теста составляла в среднем более 10°, что свидетельствует о преимущественной ретракции икроножной мышцы. Также значимые различия между группами пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени и без нее были отмечены по величине тыльного сгибания при полном разгибании коленного сустава, что также свидетельствует о преимущественном укорочении икроножной мышцы и о меньшей вовлеченности в патологический процесс камбаловидной мышцы. Графики регрессионных моделей по значениям величины тыльного сгибания стоп при проведении теста Silfverskiöld приведены на рисунке 3.15.

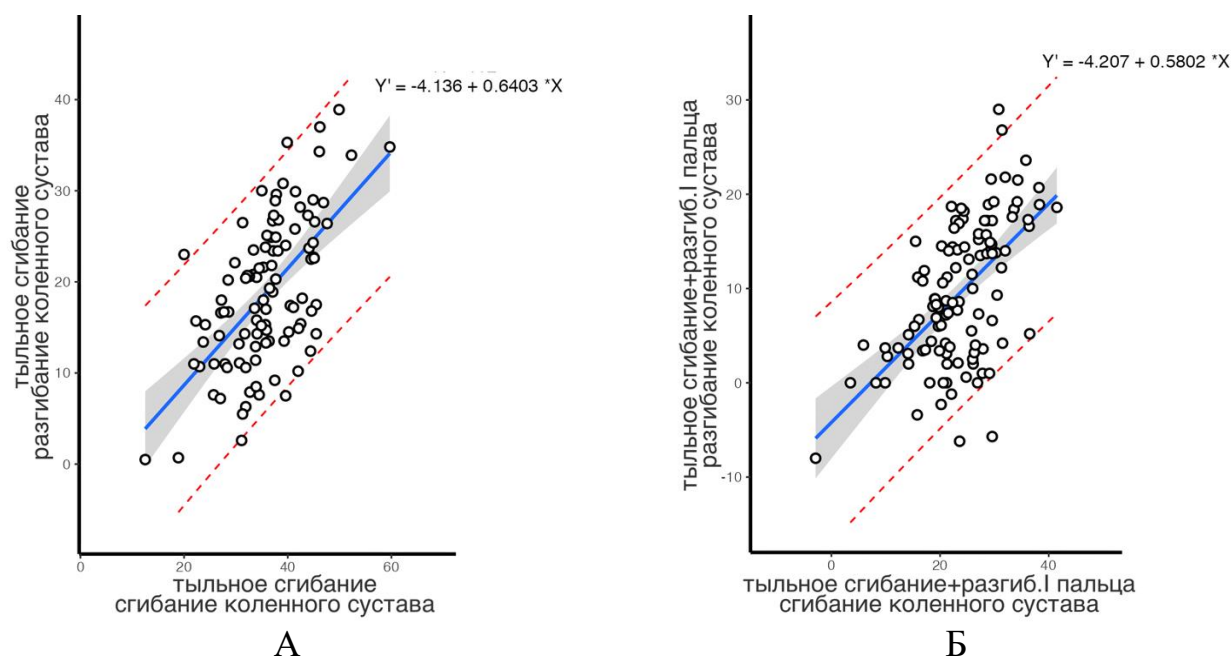


Рисунок 3.15. Графики регрессионных моделей по значениям тыльного сгибания стоп при проведении теста Silfverskiöld. А - выполнение изолированного тыльного сгибания (n=102); Б - тыльное сгибание с разгибанием I пальца (n=112).

Как можно увидеть из графика на рисунке 3.15, величина тыльного сгибания стопы при проведении теста Silfverskiöld характеризовалась положительной линейной связью, что свидетельствует также о ретракции камбаловидной мышцы при ретракции икроножной мышцы, однако, по представленным в таблице 3.11 данным, эти изменения не имели клинической значимости. В связи с этим, дальнейшая оценка тыльного сгибания стоп проводилась при полном разгибании коленного сустава.

Диаграмма распределения пациентов в зависимости от величины тыльного сгибания стоп с полным разгибанием коленного сустава в зависимости от наличия ретракции трехглавой мышцы голени приведена на рисунке 3.16.

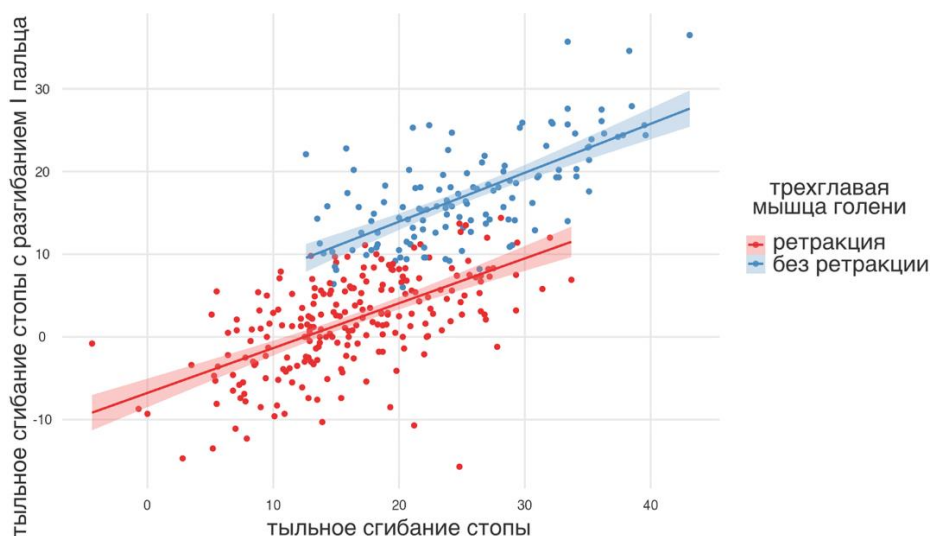


Рисунок 3.16. График распределения пациентов в зависимости от величины тыльного сгибания стоп ($n=363$).

На рисунке 3.16 видно, что соосность графиков линейной регрессии по каждому варианту определения тыльного сгибания стопы свидетельствует о наличии тесной связи между двумя исследуемыми тестами. Также можно отметить, что средняя разница тыльного сгибания стоп у пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени и без нее составила около 10° . Для определения характера связи между двумя вариантами оценки величины тыльного сгибания стопы был проведен регрессионный анализ, график которого представлен на рисунке 3.17.

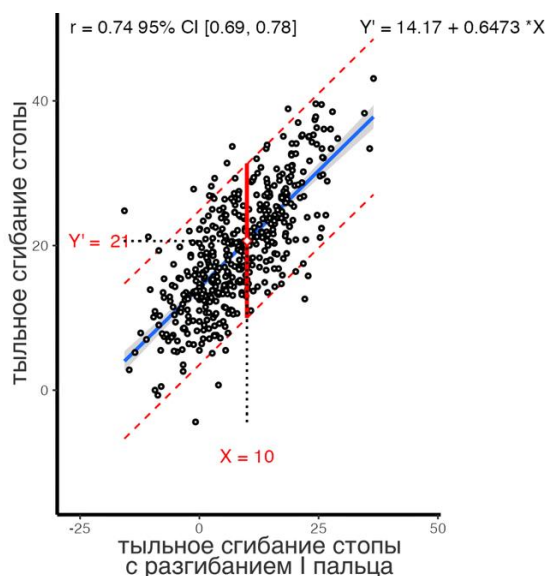


Рисунок 3.17. График и формула регрессионной модели, построенной по данным величины тыльного сгибания стопы с использованием исследуемых тестов ($n=468$).

На графике рисунка 3.17 показано, что между двумя исследуемыми тестами имелась сильная положительная корреляционная связь ($r=0,74$). Также исходя из формулы регрессионной модели, можно отметить, что величина тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца в 10° (пороговое значение тыльного сгибания для определения ретракции трехглавой мышцы голени) соответствовала 21° изолированного тыльного сгибания стопы. Таким образом, изолированное тыльное сгибание стопы менее 20° свидетельствует о ретракции трехглавой мышцы голени.

Для анализа сочетаний основных клинических параметров и ограничения тыльного сгибания стопы при стабилизации суставов предплюсны была построена диаграмма UpSet (рисунок 3.18).

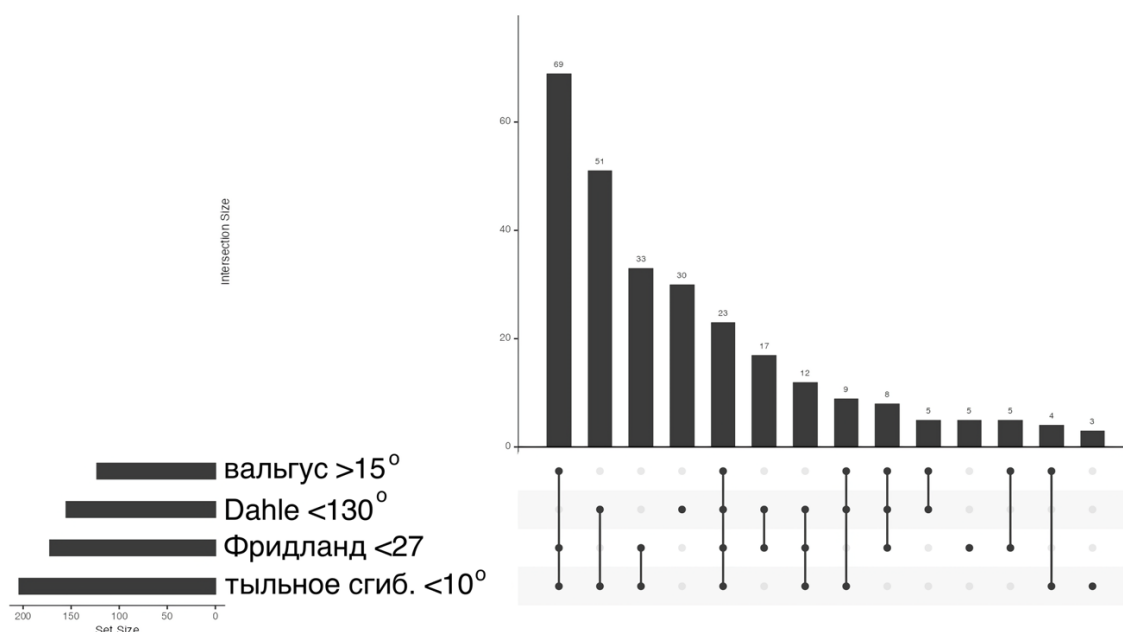


Рисунок 3.18. Диаграммы UpSet по исследуемым клиническим параметрам плоскостопия у детей ($N=274$).

На графике рисунка 3.18 видно, что ограничение тыльного сгибания стопы (при стабилизации суставов предплюсны) в изолированном виде, то есть, без клинических проявлений плоскостопия, встречалось реже всего. Частота встречаемости критериев плоскостопия в сочетании с ограничением тыльного сгибания стопы была следующей: тыльное сгибание $<10^\circ$ в сочетании с индексом Фридланда <27 и вальгусом заднего отдела $>15^\circ$ – 12% случаев; угол Dahle $<130^\circ$ и тыльное сгибание $<10^\circ$ – 18,5% случаев; индекс Фридланда <27 и тыльное

сгибание $<10^{\circ}$ – 12 %. Сочетание всех факторов в различных комбинациях наблюдалось в 8,4% случаев, а именно: индекс Фридланда <27 , угол Dahle $<130^{\circ}$ и тыльное сгибание $<10^{\circ}$ – 4,4 %; тыльное сгибание $<10^{\circ}$ с углом Dahle $<130^{\circ}$ и вальгусом $>15^{\circ}$ – 3,3%; и вариант тыльного сгибания $<10^{\circ}$ и вальгуса $>15^{\circ}$ – 1,5%.

Стоит заметить, что чаще всего ограничение тыльного сгибания стопы в изолированном виде сочеталось со снижением свода (уменьшение угла Dahle). Это позволяет предположить вторичный характер ретракции трехглавой мышцы голени. Можно отметить, что увеличение деформации стопы чаще всего приводит к ретракции трехглавой мышцы голени, поскольку при plano-вальгусной деформации отмечается потеря пропульсивной силы трехглавой мышцы голени, что, вероятно, приводит к вторичной ретракции трёхглавой мышцы голени. С другой стороны стоит отметить, что пациенты из группы мобильного плоскостопия также имели наибольшее сочетание исследуемых параметров с нормальным тыльным сгибанием. Эти особенности позволяют предположить, что группа пациентов с плоскостопием с укорочением и без укорочения трехглавой мышцы голени не является однородной. Полученные данные обуславливают проведение дальнейших исследований, направленных на выявление подгрупп в группе пациентов с нормальной мобильностью подтаранного сустава, то есть в группе пациентов с мобильным плоскостопием.

3.2 Оценка функции стопы

3.2.1 Сила трехглавой мышцы голени у детей с плоскостопием

Сила трехглавой мышцы голени определяет величину пропульсии при ходьбе, а ее снижение обуславливает нарушение походки. При плоскостопии из-за невозможности блокирования суставов предплюсны при осуществлении пропульсии, сила от сокращения трехглавой мышцы голени не в полной мере передается на передний отдел стопы. Для проверки этой гипотезы был проведен анализ силы трехглавой мышцы голени и сопоставление величины силы с

основными подометрическими, ультрасонографическими и электрофизиологическими показателями.

При анализе данных силы трехглавой мышцы голени установлено, что она (сила) имела прямую линейную зависимость от веса пациента (рисунок 3.19).

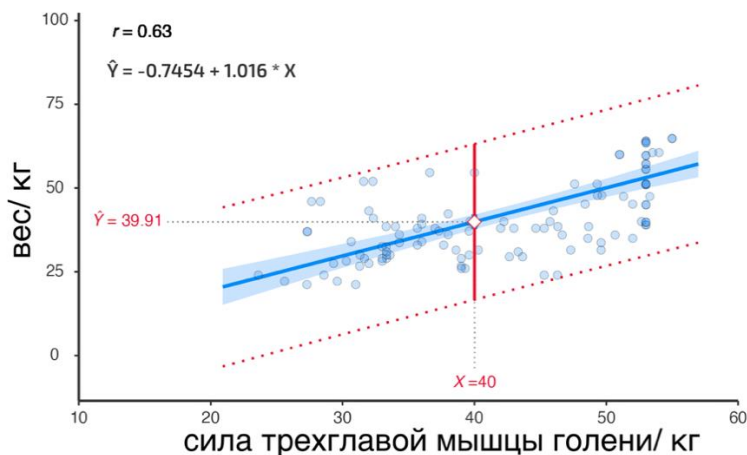


Рисунок 3.19. Регрессионная модель по паре критериев «вес-сила трехглавой мышцы голени» (n=120).

Как можно отметить на рисунке 3.19, исходя из линейной регрессионной модели, сила трехглавой мышцы голени одной нижней конечности соответствовала весу пациента. Это связано с тем, что пропульсивная сила трехглавой мышцы голени, обуславливающая движение вперед при ходьбе, возникает в большей степени в одноопорную фазу шага. При уменьшении силы трехглавой мышцы голени ниже веса пациента возникают значимые функциональные нарушения.

При анализе клинических показателей и величины силы трехглавой мышцы голени были получены данные, свидетельствующие об увеличении силы трехглавой мышцы голени по мере уплощения стопы (рисунок 3.20).

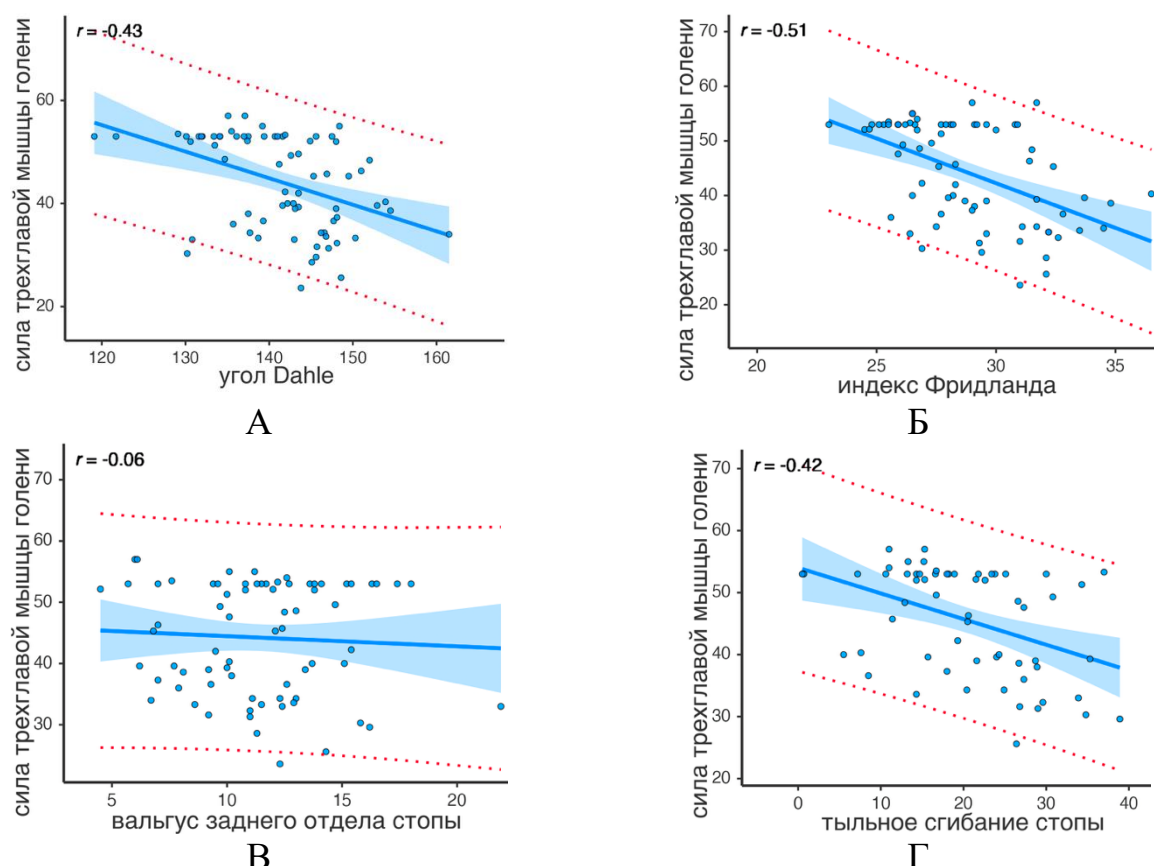


Рисунок 3.20. Графики регрессионных моделей между основными клиническими параметрами и силой трехглавой мышцы голени ($n=120$). А – угол Dahle; Б – индекс Фридланда; В – вальгус заднего отдела стопы; Г – тыльное сгибание стопы.

Как видно из рисунка 3.20, сила трехглавой мышцы голени увеличивалась по мере уплощения свода стопы (рисунок 3.20А, Б). С другой стороны, вальгус заднего отдела стопы не оказывал значимого влияния на величину силы трехглавой мышцы голени – $r = -0,06$ (рисунок 3.20В). Также стоит отметить, что по мере уменьшения тыльного сгибания стопы происходило увеличение силы трехглавой мышцы голени (рисунок 3.20Г). Величина тыльного сгибания с разгибанием I пальца не оказывала значимого влияния на силу трехглавой мышцы голени ($r = -0,052$).

При анализе электрофизиологических показателей были выявлены слабые корреляционные связи между силой трехглавой мышцы голени и параметрами при выполнении поверхностной динамической ЭМГ. Графики регрессионных моделей по значимым корреляционным связям приведены на рисунке 3.21.

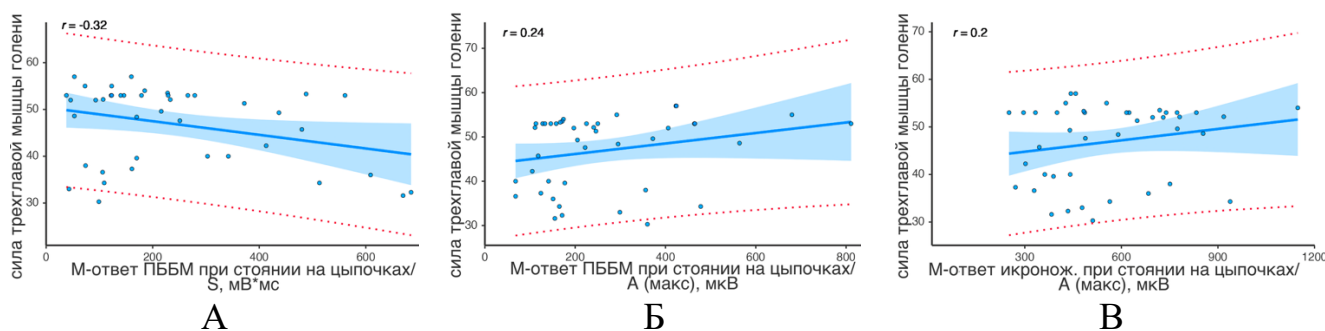


Рисунок 3.21. Графики регрессионных моделей по значимым корреляционным связям между электрофизиологическими параметрами и силой трехглавой мышцы голени (n=120). А – площадь М-ответа передней большеберцовой мышцы при стоянии на цыпочках; Б – М-ответ передней большеберцовой мышцы при стоянии на цыпочках; В – М-ответ икроножной мышцы при стоянии на цыпочках.

Как можно увидеть на рисунке 3.21, сила трехглавой мышцы голени имела большую зависимость от показателей ЭМГ переднего компартмента голени (площадь М-ответа и величина М-ответа) при стоянии на цыпочках по сравнению с икроножной мышцей. Указанные данные свидетельствуют о реципрокных нарушениях между группами мышц антагонистов у детей с ригидным плоскостопием, поскольку при стоянии на цыпочках во время максимального сокращения трехглавой мышцы голени также происходило увеличение показателей М-ответа мышц переднего компартмента. Вместе с тем, пиковые значения М-ответа икроножной мышцы при стоянии на цыпочках хоть и имели прямую корреляционную связь с силой трехглавой мышцы голени, но сила этой связи не позволяет проводить аналогию между силой мышцы и показателями М-ответа.

При анализе ультразвукографических показателей трехглавой мышцы голени была выявлена прямая корреляционная связь между толщиной икроножной и камбаловидной мышцы и силой трехглавой мышцы голени (рисунок 3.22).

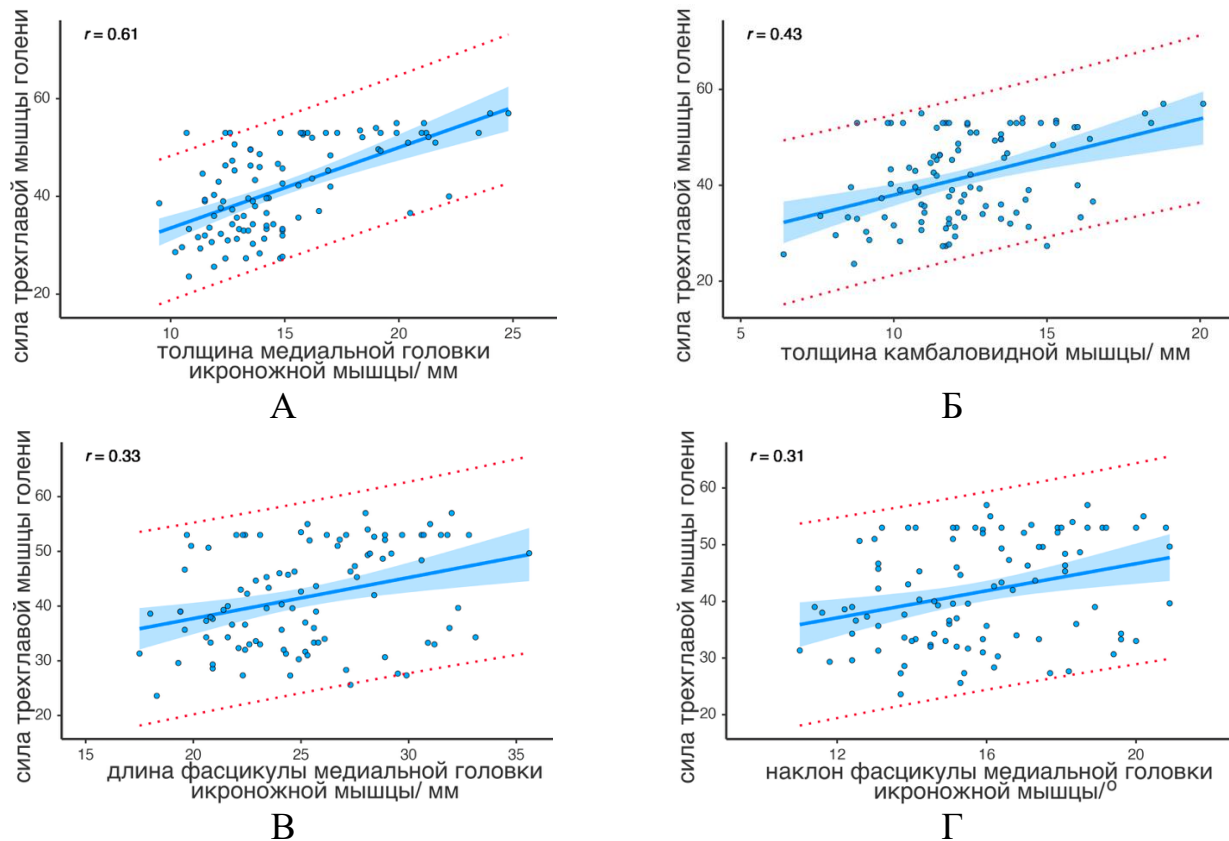


Рисунок 3.22. Графики регрессионных моделей между ультразвукографическими показателями и силой трехглавой мышцы голени ($n=120$). А – толщина медиальной головки икроножной мышцы; Б – толщина камбаловидной мышцы; В – длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы; Г – наклон фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы.

Как видно из рисунка 3.22, сила трехглавой мышцы голени прямо пропорциональна толщине икроножной и камбаловидной мышц. При этом толщина икроножной мышцы в большей степени влияла на силу трехглавой мышцы голени (рисунок 3.22А) по сравнению с камбаловидной мышцей (рисунок 3.22Б). С другой стороны, угол наклона фасцикул медиальной головки икроножной мышцы (α) также имел прямо пропорциональную связь с силой трехглавой мышцы голени, что противоречит данным литературы, по которым уменьшение угла α характеризует увеличение силы мышцы. Однако, прямо пропорциональная связь между длиной фасцикулы икроножной мышцы и силой трехглавой мышцы голени показывает, что толщина мышцы в большей степени обуславливает ее силу. При анализе взаимного влияния угла наклона и длины

фасцикулы икроножной мышцы была выявлена сильная прямая зависимость (рисунок 3.23).

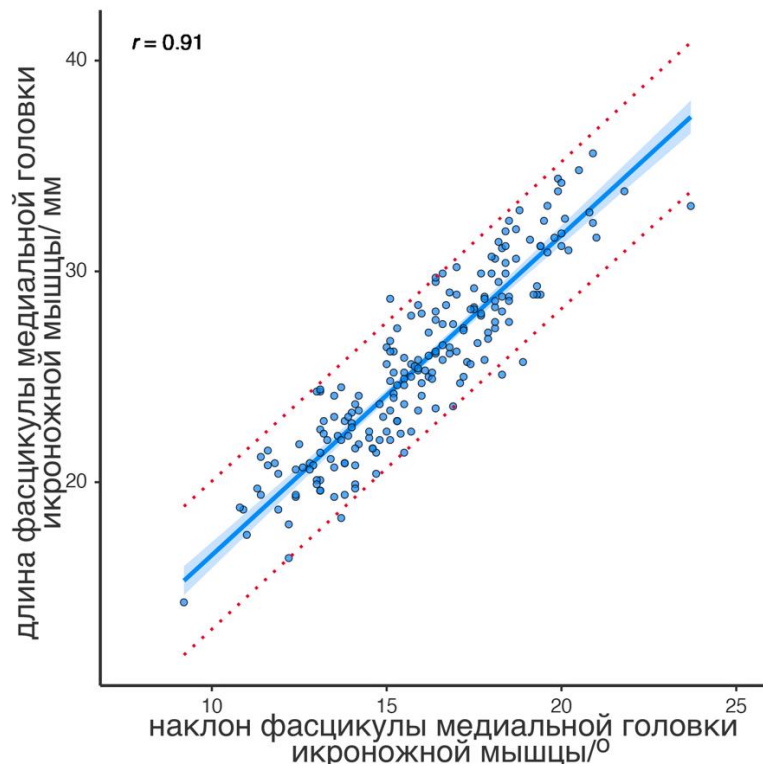


Рисунок 3.23. Зависимость длины фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы от угла ее наклона (n=202).

На рисунке 3.23 показано, что длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы увеличивается при увеличении угла α , что может быть только при увеличении толщины медиальной головки икроножной мышцы. Таким образом, из двух мышц, имеющих одинаковый угол наклона фасцикул, большую силу будет иметь мышца с большей толщиной. Сравнительные данные по исследуемым показателям в группах пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени и без нее приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 - Сравнительные показатели электрофизиологических, анатомических и функциональных показателей мышц голени в группах пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени и без нее (n=82)

Показатели мышц голени	Statistic	p
сила трехглавой мышцы голени/кг	-0,481	0,632
длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/мм	-2,404	0,018
наклон фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/°	-2,233	0,027
толщина медиальной головки икроножной мышцы/мм	-2,906	0,005
толщина камбаловидной мышцы/мм	-3,003	0,004
соотношение толщины икроножной мышцы к камбаловидной мышце	0,849	0,399
М-ответ икронож. при ходьбе A(ср)/мкВ	0,183	0,855
М-ответ ПББМ при ходьбе A(ср)/мкВ	-2,485	0,016
М-ответ икронож. при стоянии на цыпочках A(ср)/мкВ	-0,007	0,994
М-ответ ПББМ при ходьбе A(макс)/мкВ	-2,410	0,022
площадь М-ответа ПББМ при ходьбе S/мВ*мс	0,240	0,811
М-ответ ПББМ при быстрой ходьбе A(ср)/мкВ	-2,148	0,038
М-ответ ПББМ при быстрой ходьбе A(макс)/мкВ	-1,543	0,131
площадь М-ответа ПББМ при быстрой ходьбе S/мВ*мс	2,280	0,029
М-ответ ПББМ при ходьбе на пятках A(ср)/мкВ	-1,174	0,248
М-ответ ПББМ при ходьбе на пятках A(макс)/мкВ	-0,627	0,535
площадь М-ответа ПББМ при ходьбе на пятках S/мВ*мс	-0,212	0,833
М-ответ ПББМ при стоянии на цыпочках A(ср)/мкВ	-0,452	0,654
М-ответ ПББМ при стоянии на цыпочках A(макс)/мкВ	-0,857	0,398
площадь М-ответа ПББМ при стоянии на цыпочках S/мВ*мс	1,790	0,084
М-ответ икронож. при ходьбе A(макс)/мкВ	0,772	0,444
площадь М-ответа икронож. при ходьбе S/мВ*мс	2,839	0,008
М-ответ икронож. при быстрой ходьбе A(ср)/мкВ	0,290	0,773
М-ответ икронож. при быстрой ходьбе A(макс)/мкВ	-0,079	0,937
площадь М-ответа икронож. при быстрой ходьбе S/мВ*мс	1,852	0,073
М-ответ икронож. при ходьбе на пятках A(ср)/мкВ	1,364	0,180
М-ответ икронож. при ходьбе на пятках A(макс)/мкВ	1,006	0,320
площадь М-ответа икронож. при ходьбе на пятках S/мВ*мс	1,416	0,166
М-ответ икронож. при стоянии на цыпочках A(макс)/мкВ	0,738	0,466
площадь М-ответа икронож. при стоянии на цыпочках S/мВ*мс	4,442	0,001

Из таблицы 3.12 следует, что сила трехглавой мышцы голени в сравниваемых группах не имела значимых различий (тест Brunner-Munzel). Вместе с тем, были значимые различия по ультрасонографическим показателям: толщине мышц, длине и углу наклона фасцикул икроножной мышцы – в группе пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени эти показатели были выше. Большинство электрофизиологических параметров не имели значимых различий между сравниваемыми группами пациентов. Наиболее значимые различия выявлены по площади М-ответа икроножной мышцы при стоянии на цыпочках –

в группе пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени этот показатель был существенно ниже.

Таким образом, снижение тыльного сгибания стопы, которое возникает при ретракции трехглавой мышцы голени можно рассматривать как компенсаторный механизм, направленный на сохранение пропульсивной силы.

3.2.2 Клиническая оценка функции стопы

При сохранении вальгуса заднего отдела при осуществлении пропульсии, суставы предплюсны разблокированы, что приводит к потере пропульсивной силы. При заблокированных суставах предплюсны точка приложения силы от сокращения подошвенных сгибателей стопы (длина рычага) располагается на уровне плюсне-фаланговых суставов. При разблокированных суставах предплюсны, точка приложения силы от сокращения подошвенных сгибателей располагается на уровне сустава Шопара, что значительно уменьшает длину рычага и снижает пропульсивную силу.

При проведении кластерного анализа по множеству параметров походки у детей с мобильным плоскостопием Н.Вöhm определил, что пациентов можно разделить на две группы в зависимости от положения заднего отдела перед осуществлением отталкивания стопы и переноса: инверзионное и эверзионное [99].

Исходя из этого, нами был разработан новый диагностический тест – вставание на цыпочки на одной ноге, имитирующий положение опорной стопы при ходьбе (патент РФ на изобретение «Способ оценки мобильности заднего отдела стопы при плоскостопии у детей» №2748189, 20.05.2021). Критерии оценки данного теста соответствуют критериям оценки теста вставания на цыпочки: при сохранении вальгуса заднего отдела стопы во время вставания на цыпочки на одной ноге – тест считается положительным, при изменении положения заднего отдела на нейтральное/ варусное – тест считается отрицательным.

При использовании указанного теста было установлено, что у определенной части пациентов с нормальной мобильностью суставов предплюсны отмечался положительный тест вставания на цыпочки на одной ноге (рисунок 3.24).

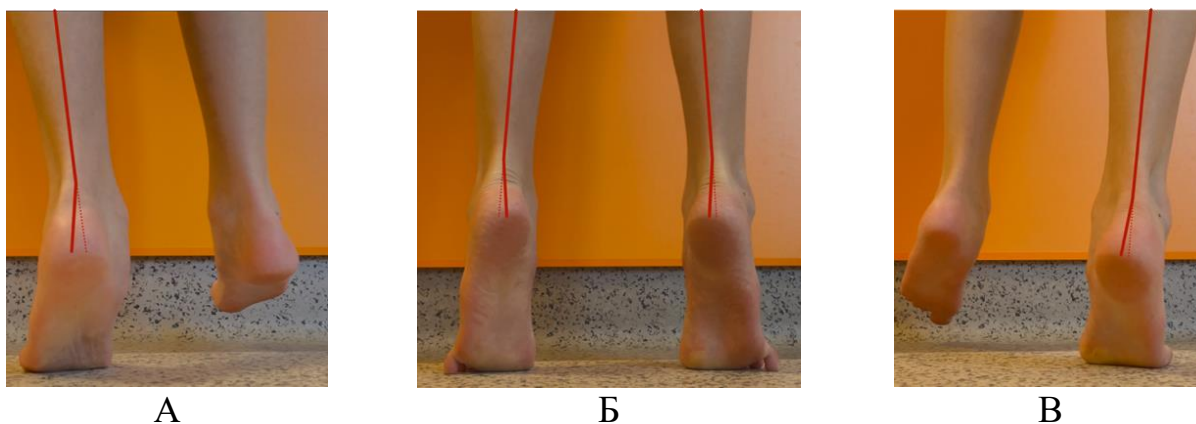


Рисунок 3.24. Изменение положения заднего отдела стопы при вставании на цыпочки на двух ногах (Б), или на одной ноге (А, В) у одного и того же пациента.

Как можно отметить из рисунка 3.24, отрицательный тест вставания на цыпочки может сопровождаться положительным тестом вставания на цыпочки на одной ноге. Таким образом, при ходьбе перед отталкиванием и движением вперед вальгус заднего отдела стопы свидетельствует об отсутствии блокирования суставов предплюсны, которое необходимо для эффективной пропульсии. В связи с этим, часть пропульсивного усилия теряется, а прогиб на уровне среднего отдела стопы приводит к перерастяжению подошвенного апоневроза и болевому синдрому (рисунок 3.25).

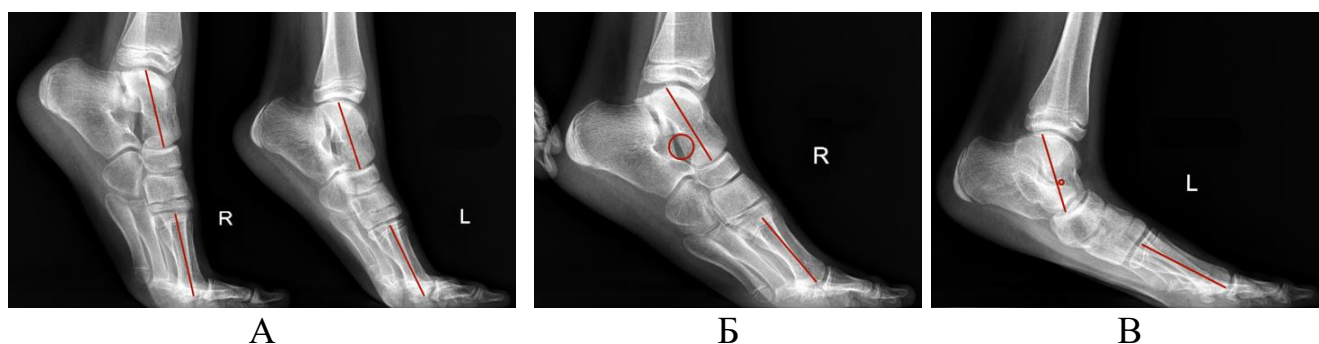


Рисунок 3.25. Функциональная рентгенография стоп пациента с рисунка 3.24. Красными линиями отмечены оси таранных и первых плюсневых костей (угол Meary), красным кругом – размер тарзального синуса. А – вставание на цыпочки на двух ногах; Б – вставание на цыпочки на правой ноге; В – вставание на цыпочки на левой ноге.

На рисунке 3.25А показано, что при вставании на цыпочки на двух ногах суставы предплюсны блокируются. При нормальной функции стопы такое же блокирование происходит в одноопорную фазу шага (рисунок 3.25Б). При нарушении функции стопы, не происходит блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага (рисунок 3.25В), что приводит к коллапсу свода и потере пропульсивной силы. Также от этого свидетельствует отсутствие визуализации или уменьшение размера тарзального синуса и нарушение соотношений осей таранной и первой плюсневой кости.

При анализе данных пациентов, которым был проведен тест вставания на цыпочки и тест вставания на цыпочки на одной ноге ($n=166$) было выявлено, что у 33,1% ($n=55$) пациентов, у которых был отмечен отрицательный тест вставания на цыпочки, сохранялся вальгус заднего отдела стопы при вставании на цыпочки на одной ноге.

При отсутствии ограничения мобильности суставов предплюсны, а также укорочения трехглавой мышцы голени, эти пациенты относились к группе пациентов с мобильным плоскостопием. При анализе полихорической корреляции между двумя номинальными переменными: тест вставания на цыпочки на одной ноге – положение заднего отдела стопы перед осуществлением отталкивания и переноса, значение коэффициента (ϕ) составило 0,649, что говорит о средней силе корреляционной связи на границе с сильной, размер эффекта (Hedges's g) – -0,868 (большой эффект), что свидетельствует о существенном взаимном влиянии исследуемых параметров. Пример изменения положения заднего отдела стопы при использовании разработанного теста и анализе походки приведен на рисунке 3.26.

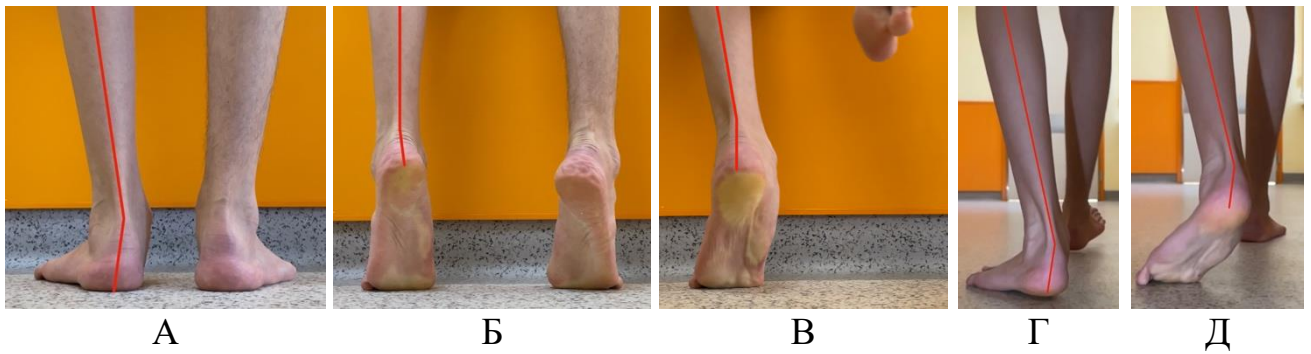


Рисунок 3.26. Оценка заднего отдела стопы в положении стоя (А), при вставании на цыпочки (Б), при вставании на цыпочки на одной ноге (В), в конце одноопорной фазы шага (Г) и перед фазой переноса (Д).

Как видно на рисунке 3.26, у пациента отмечается отрицательный тест вставания на цыпочки (задний отдел стопы меняет свое положение из вальгусного (А) на варусное (Б) при вставании на цыпочки). Однако у данного пациента отмечается положительный тест вставания на цыпочки на одной ноге – сохранение вальгусного положения заднего отдела стопы (В). Также у данного пациента при анализе походки отмечается вальгусное положение заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага – непосредственно перед касанием заднего отдела стопы контралатеральной конечности поверхности опоры (Г) и перед началом фазы переноса – перед отталкиванием ипсилатеральной конечности (Д). На данном клиническом примере показано каким образом тест вставания на цыпочки на одной ноге коррелирует с положением заднего отдела стопы в одноопорную фазу шага и во время осуществления пропульсии.

Для определения влияния положения заднего отдела стопы во время осуществления пропульсии и результатов теста «вставания на цыпочки на одной ноге» построена модель Лог-линейной регрессии. При этом, факторами были: положение заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага и результаты теста «вставания на цыпочки на одной ноге». Опорные уровни были установлены как положительное значение теста и вальгусное положение заднего отдела стопы. Модель показала, что с высокой долей вероятности точно описывает полученные данные – девиантность = $-6,66e-16$; $\chi^2=47,4$; $R^2_{\text{McF}}=0,98$; $df=3$; $p>0,001$. Распределение значений теста и положения заднего отдела стопы в конце

одноопорной фазы шага, а также взвешенные предельные средние у пациентов с плоскостопием приведено на рисунке 3.27.

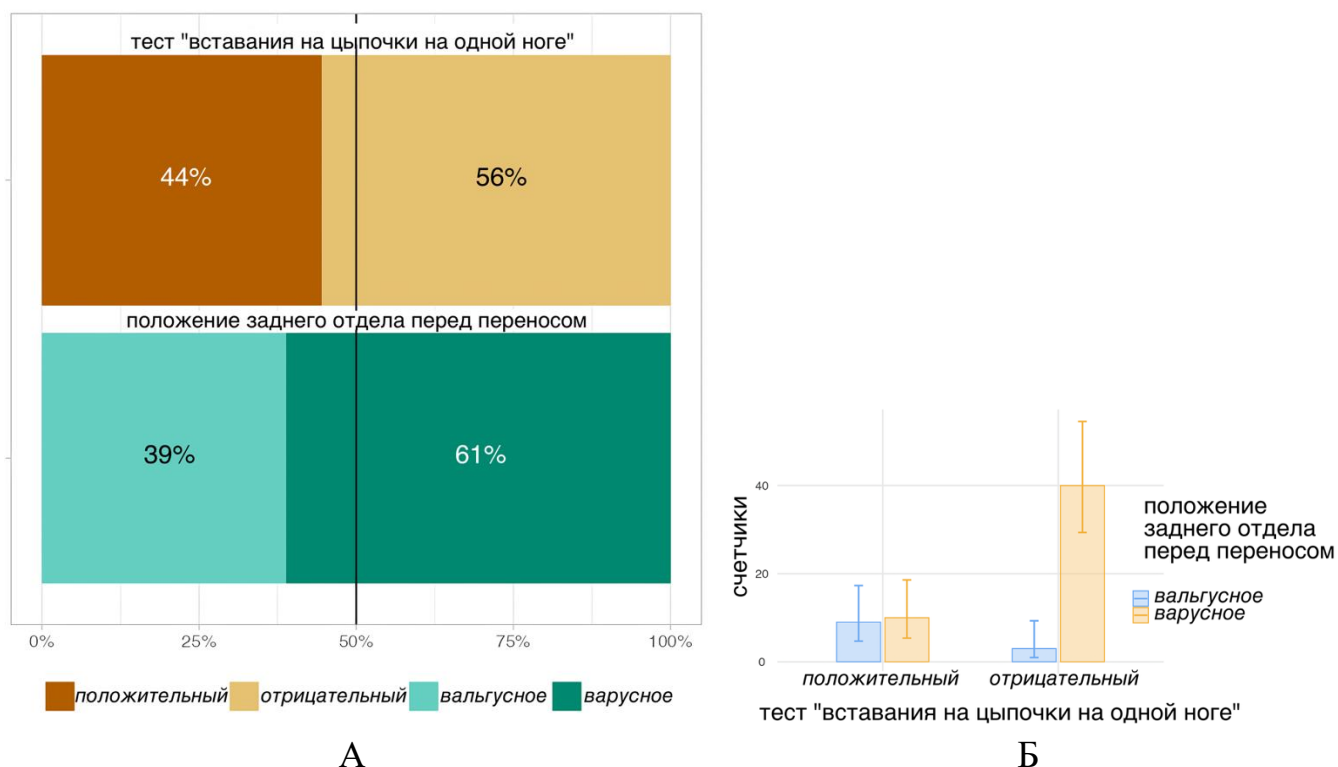


Рисунок 3.27. Распределение пациентов с положительным и отрицательным значением теста и разным положением заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага (n=166). А – график процентного соотношения; Б – количество положительных и отрицательных значений теста в группах пациентов с разным положением заднего отдела стопы перед переносом.

На рисунке 3.27А показано, что большая часть пациентов с положительным значением теста имеет вальгусное положение заднего отдела перед переносом. Следует отметить, что большинство пациентов с отрицательным тестом «вставания на цыпочки на одной ноге» имели варусное положение заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага. По величине отношения рисков (ОР=12,00) можно сделать вывод, что при положительном значении теста «вставания на цыпочки на одной ноге» риск вальгусного положения стопы в конце одноопорной фазы шага повышается в 12 раз. При этом, указанные изменения встречаются также и в группе пациентов с мобильным плоскостопием (рисунок 3.28).

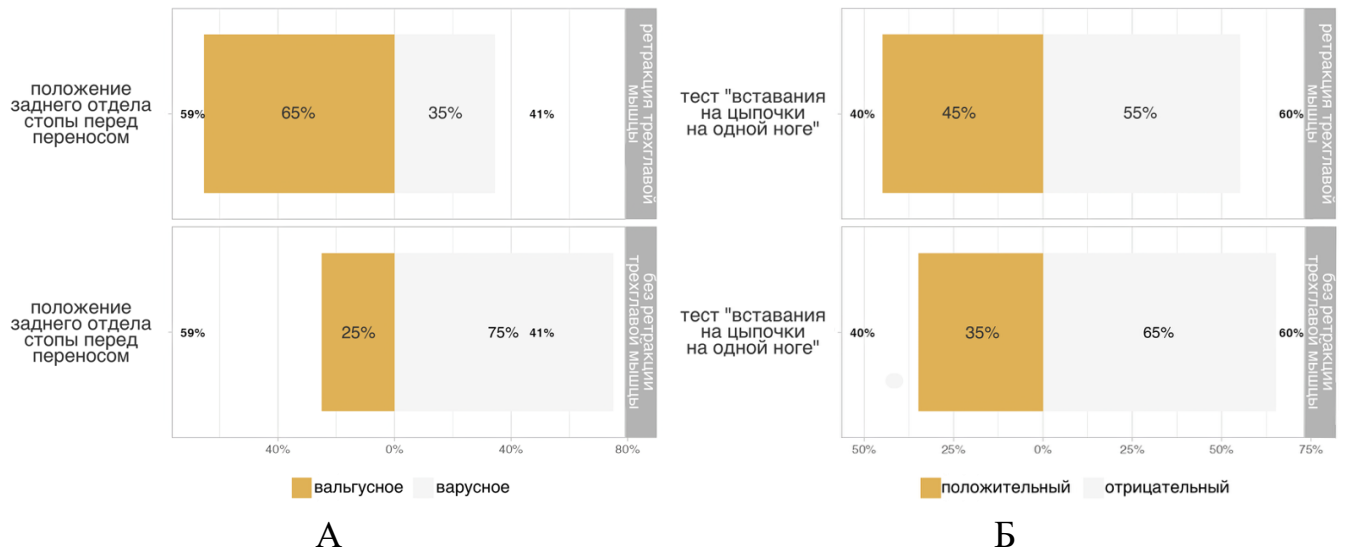


Рисунок 3.28. Распределение пациентов по значению исследуемого теста и положению заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага в зависимости от наличия или отсутствия ретракции трехглавой мышцы голени ($n=166$). А – положение заднего отдела стопы перед переносом; Б – результаты теста «вставания на цыпочки на одной ноге».

Как видно на рисунке 3.28, от 25 до 35% детей с мобильным плоскостопием (в зависимости от метода оценки) имеют функциональную ригидность заднего отдела стопы.

Для анализа разработанного теста проведен дисперсионный анализ с основными клиническими, рентгенологическими, ультрасонографическими и электрофизиологическими параметрами. Данные дисперсионного анализа с основными ультрасонографическими и функциональными показателями приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Однофакторный дисперсионный анализ Kruskal-Wallis между основными ультрасонографическими и функциональными параметрами (n=42)

Исследуемый параметр	Тест «вставания на цыпочки на одной ноге»		Положение заднего отдела перед переносом	
	χ^2	p	χ^2	p
длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/мм	2,892	0,089	0,019	0,888
наклон фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/°	1,602	0,206	0,047	0,827
толщина медиальной головки икроножной мышцы/мм	0,143	0,705	0,010	0,917
толщина камбаловидной мышцы/мм	0,439	0,507	0,421	0,516
М-ответ икронож. при ходьбе A(ср)/мкВ	2,741	0,098	0,880	0,348
М-ответ ПББМ при ходьбе A(ср)/мкВ	0,067	0,794	0,289	0,591
М-ответ икронож. при стоянии на цыпочках A(ср)/мкВ	0,022	0,880	1,708	0,191
М-ответ ПББМ при ходьбе A(макс)/мкВ	0,209	0,647	0,103	0,748
площадь М-ответа ПББМ при ходьбе S/мВ*мс	0,441	0,506	0,470	0,493
М-ответ ПББМ при быстрой ходьбе A(ср)/мкВ	0,055	0,813	1,544	0,214
М-ответ ПББМ при быстрой ходьбе A(макс)/мкВ	0,223	0,637	1,880	0,170
площадь М-ответа ПББМ при быстрой ходьбе S/мВ*мс	0,042	0,836	1,439	0,230
М-ответ ПББМ при ходьбе на пятках A(ср)/мкВ	0,007	0,929	0,148	0,700
М-ответ ПББМ при ходьбе на пятках A(макс)/мкВ	0,003	0,953	0,066	0,797
площадь М-ответа ПББМ при ходьбе на пятках S/мВ*мс	0,635	0,425	0,264	0,607
М-ответ ПББМ при стоянии на цыпочках A(ср)/мкВ	0,003	0,953	0,066	0,797
М-ответ ПББМ при стоянии на цыпочках A(макс)/мкВ	0,036	0,848	0,001	0,966
площадь М-ответа ПББМ при стоянии на цыпочках S/мВ*мс	0,267	0,605	1,147	0,284
М-ответ икронож. при ходьбе A(макс)/мкВ	0,252	0,616	0,001	0,966
площадь М-ответа икронож. при ходьбе S/мВ*мс	0,684	0,408	0,441	0,506
М-ответ икронож. при быстрой ходьбе A(ср)/мкВ	0,115	0,734	2,060	0,151
М-ответ икронож. при быстрой ходьбе A(макс)/мкВ	0,461	0,497	1,652	0,199
площадь М-ответа икронож. при быстрой ходьбе S/мВ*мс	0,223	0,637	0,809	0,368
М-ответ икронож. при ходьбе на пятках A(ср)/мкВ	0,001	0,988	0,132	0,716
М-ответ икронож. при ходьбе на пятках A(макс)/мкВ	0,013	0,906	0,148	0,700
площадь М-ответа икронож. при ходьбе на пятках S/мВ*мс	4,648	0,031	1,194	0,274
М-ответ икронож. при стоянии на цыпочках A(макс)/мкВ	0,013	0,906	1,999	0,157
площадь М-ответа икронож. при стоянии на цыпочках S/мВ*мс	0,013	0,906	2,249	0,134
сила трехглавой мышцы голени/ кг	1,330	0,249	0,201	0,654

Из таблицы 3.13 следует, что практически все исследуемые параметры не имели значимых различий как по результатам теста «вставания на цыпочки на одной ноге», так и по положению заднего отдела стопы перед переносом. Для определения различий указанных параметров в группах пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени и без нее был проведен сравнительный анализ (таблица 3.14).

Таблица 3.14 – Данные сравнительного анализа (тест Brunner-Munzel) основных ультрасонографических и функциональных показателей в группах пациентов с ретракцией и без ретракции трехглавой мышцы голени (n=82)

Исследуемый параметр	Statistic	df	p
длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/мм	-2,404	106,5	0,018
наклон фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/°	-2,233	118,3	0,027
толщина медиальной головки икроножной мышцы/мм	-2,906	80,9	0,005
толщина камбаловидной мышцы/мм	-3,003	80,1	0,004
М-ответ икронож. При ходьбе A(ср)/мкВ	0,183	51,5	0,855
М-ответ ПББМ при ходьбе A(ср)/мкВ	-2,485	53,8	0,016
М-ответ икронож. При стоянии на цыпочках A(ср)/мкВ	-0,007	57,6	0,994
М-ответ ПББМ при ходьбе A(макс)/мкВ	-2,410	33,0	0,022
площадь М-ответа ПББМ при ходьбе S/мВ*мс	0,240	37,2	0,811
М-ответ ПББМ при быстрой ходьбе A(ср)/мкВ	-2,148	36,8	0,038
М-ответ ПББМ при быстрой ходьбе A(макс)/мкВ	-1,543	37,3	0,131
площадь М-ответа ПББМ при быстрой ходьбе S/мВ*мс	2,280	35,0	0,029
М-ответ ПББМ при ходьбе на пятках A(ср)/мкВ	-1,174	34,0	0,248
М-ответ ПББМ при ходьбе на пятках A(макс)/мкВ	-0,627	31,5	0,535
площадь М-ответа ПББМ при ходьбе на пятках S/мВ*мс	-0,212	35,0	0,833
М-ответ ПББМ при стоянии на цыпочках A(ср)/мкВ	-0,452	28,7	0,654
М-ответ ПББМ при стоянии на цыпочках A(макс)/мкВ	-0,857	32,6	0,398
площадь М-ответа ПББМ при стоянии на цыпочках S/мВ*мс	1,790	27,5	0,084
М-ответ икронож. при ходьбе A(макс)/мкВ	0,772	37,9	0,444
площадь М-ответа икронож. при ходьбе S/мВ*мс	2,839	33,3	0,008
М-ответ икронож. при быстрой ходьбе A(ср)/мкВ	0,290	36,9	0,773
М-ответ икронож. при быстрой ходьбе A(макс)/мкВ	-0,079	37,5	0,937
площадь М-ответа икронож. при быстрой ходьбе S/мВ*мс	1,852	34,1	0,073
М-ответ икронож. при ходьбе на пятках A(ср)/мкВ	1,364	37,8	0,180
М-ответ икронож. при ходьбе на пятках A(макс)/мкВ	1,006	37,5	0,320
площадь М-ответа икронож. при ходьбе на пятках S/мВ*мс	1,416	34,1	0,166
М-ответ икронож. при стоянии на цыпочках A(макс)/мкВ	0,738	30,4	0,466
площадь М-ответа икронож. при стоянии на цыпочках S/мВ*мс	4,442	31,6	<0,001
сила трехглавой мышцы голени/кг	-0,481	64,5	0,632

Анализ данных таблицы 3.14 показал, что по всем ультрасонографическим показателям, а также ряду электрофизиологических параметров были отмечены статистически значимые различия в сравниваемых группах. Отсутствие этих различий между группами пациентов с разными значениями теста «вставания на цыпочки на одной ноге» и разным положением заднего отдела стопы перед фазой переноса позволяет предположить, что ретракция трехглавой мышцы голени

вторична и является компенсаторным механизмом до определенного времени для сохранения пропульсивной силы и стабилизации заднего отдела стопы.

Для анализа влияния исследуемых биомеханических параметров был проведен дисперсионный анализ по основным клиническим и рентгенологическим параметрам стоп. Данные дисперсионного анализа приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Однофакторный дисперсионный анализ Kruskal-Wallis между основными клиничко-рентгенологическими параметрами (n=166)

Исследуемый параметр	Тест «вставания на цыпочки на одной ноге»		Положение заднего отдела перед переносом	
	χ^2	p	χ^2	p
угол Kite AP/°	0,0668	0,796	0,203	0,652
угол Meary AP/°	3,2154	0,073	6,379	0,012
угол латерального смещения ладьевидной кости°	10,0679	<0,001	11,837	<0,001
угол Sgarlato/°	2,4037	0,121	3,143	0,076
угол Kite LAT/°	0,0453	0,832	6,617	0,010
угол Meary LAT/°	1,5525	0,213	12,981	<0,001
угол наклона пяточной кости/°	0,3695	0,543	6,617	0,010
таранно-пяточное соотношение/%	4,5940	0,041	3,871	0,049
большеберцово-таранный угол/°	0,3161	0,574	10,726	0,001
угол продольного свода/°	3,0532	0,081	2,072	0,150
угол тарзального синуса/°	4,8540	0,028	15,948	<0,001
угол Dahle/°	3,5973	0,049	4,058	0,044
вальгус заднего отдела/°	23,6282	<0,001	11,134	<0,001
индекс Фридланда	0,1243	0,724	0,488	0,485
тыльное сгибание стопы/°	0,0197	0,888	0,274	0,600
тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца/°	0,3318	0,565	2,412	0,120

Как можно отметить из таблицы 3.15, функциональная ригидность заднего отдела стопы связана с величиной деформации стопы, в первую очередь – вальгусом заднего отдела. Также наиболее значимыми рентгенологическими критериями, указывающими на нарушение функции стопы (по величине χ^2), были: угол латерального смещения ладьевидной кости, таранно-пяточное соотношение и угол тарзального синуса.

Различия исходного положения заднего отдела стопы у пациентов с разными результатами теста «вставания на цыпочки на одной ноге» представлены на рисунке 3.29.

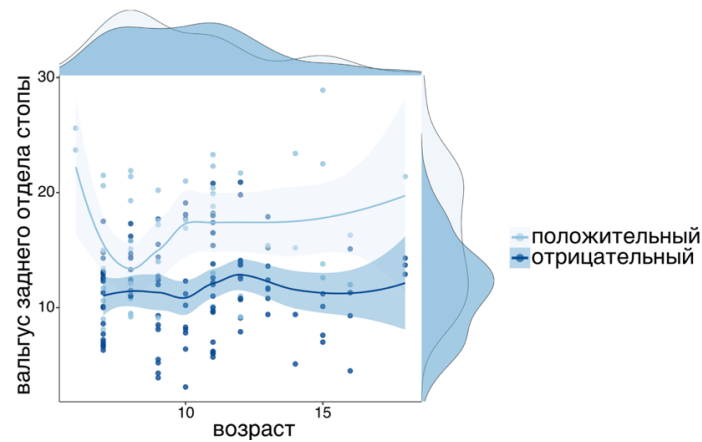


Рисунок 3.29. Значения исходного вальгуса заднего отдела стопы у пациентов разного возраста с положительным и отрицательным результатом теста вставания на цыпочки на одной ноге (n=166).

Как можно увидеть из рисунка 3.29, значения 95% доверительного интервала вальгуса заднего отдела стопы практически не пересекались в группах пациентов с разными значениями теста. Отношение медиан вальгуса заднего отдела стопы у пациентов с разными значениями теста изображено на рисунке 3.30.

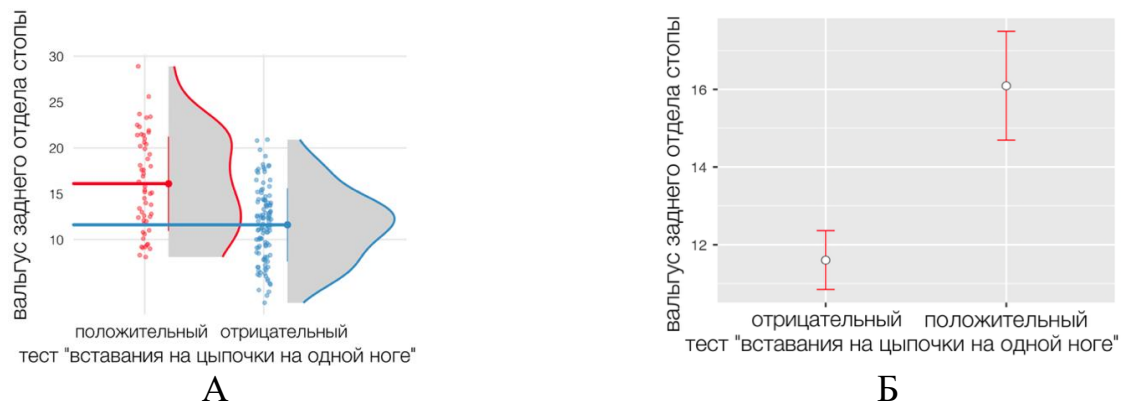


Рисунок 3.30. Распределение значений вальгуса заднего отдела стопы у пациентов с разными значениями теста «вставания на цыпочки на одной ноге» (n=166). А — график распределения значений вальгуса заднего отдела стопы в зависимости от результата теста «вставания на цыпочки на одной ноге»; Б — график медианных значений вальгуса заднего отдела стопы в зависимости от результата теста «вставания на цыпочки на одной ноге».

Как можно отметить из рисунка 3.30, медиана, первый и третий квартили величины вальгуса заднего отдела стопы у пациентов с положительным значением теста превышали 15° ($16,1$ [95% CI: $14,9$; $17,3$]), с другой стороны, у пациентов с отрицательным значением теста, медиана, первый и третий квартили вальгуса располагалась в диапазоне $10-15^\circ$ ($11,6$ [95% CI: $10,98$; $12,4$]), размер эффекта (Hedges's g) – $0,967$ [95% CI: $0,69$; $1,27$] (большой эффект), что свидетельствует о существенном влиянии вальгуса заднего отдела на результат теста. Различия в величине исходного вальгуса заднего отдела стопы были статистически значимыми в группах пациентов с разными значениями теста (U-критерий Mann-Whitney; $p > 0,001$).

При построении Лог-линейной регрессии, в котором включены факторы: результаты теста «вставания на цыпочки на одной ноге» и вальгус заднего отдела стопы более 15° , было выявлено, что вальгус более 15° повышает риски положительного теста «вставания на цыпочки на одной ноге» в 5 раз ($\chi^2=60,8$; $R^2_{McF}=0,96$; $df=3$; $p > 0,001$; $OR=4,95$).

При сравнении результата теста «вставания на цыпочки на одной ноге» и положения заднего отдела стопы перед переносом выявлены аналогичные изменения по величине вальгуса заднего отдела (рисунок 3.31).

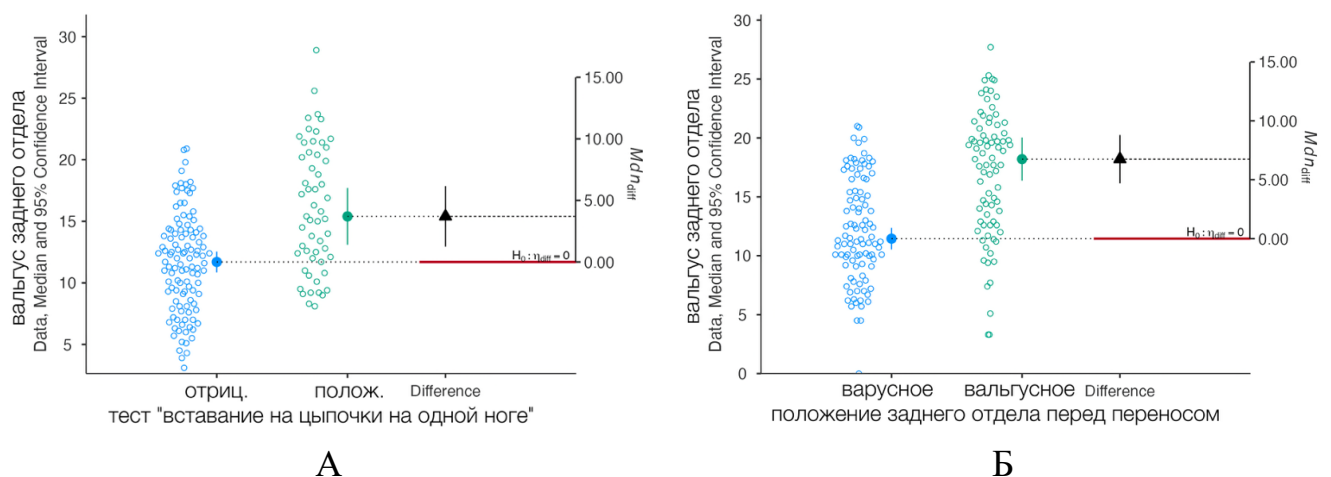


Рисунок 3.31. Графики различий величины вальгуса заднего отдела стопы в зависимости от результата теста «вставания на цыпочки на одной ноге» (А) и положения заднего отдела стопы перед переносом (Б) ($n=166$).

Как можно отметить из рисунка 3.31, различия в величине вальгуса заднего отдела при разных результатах теста практически совпадают с положением заднего отдела стопы перед осуществлением переноса ($M_{diff} - 4,49$ и $6,75$).

Для оценки основных показателей статистической значимости указанного теста был проведен расчет точности, чувствительности, специфичности и построение модели биномиальной логистической регрессии, при этом зависимой переменной был выбран тест «вставания на цыпочки на одной ноге», фактором – положение заднего отдела стопы перед осуществлением пропульсии, ковариатом – величина вальгуса заднего отдела. Основные прогностические меры указанного теста были получены следующие: точность – 0,786; специфичность – 0,476; чувствительность – 0,918. Графики полученной модели приведены на рисунке 3.32.

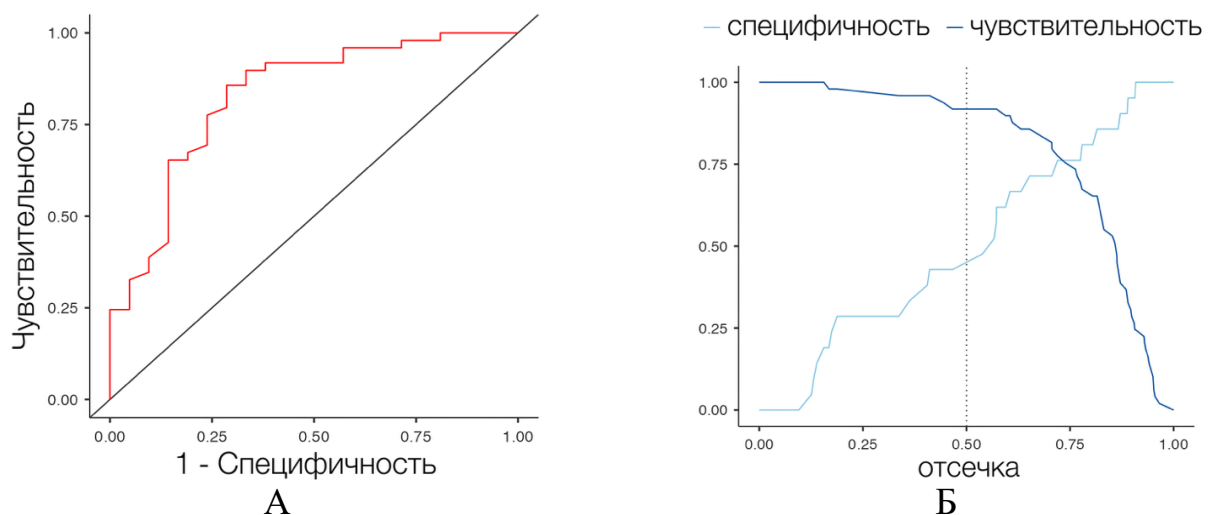


Рисунок 3.32. Прогностические графики построенной модели биномиальной логистической регрессии ($n=166$). А – ROC-кривая; Б – график отсечки.

На рисунке 3.32 график ROC-кривой находится на удалении от порогового значения ($AUC = 0,828$). При оценке прогностических параметров теста установлено, что его точность составляет 0,771, специфичность – 0,476, а чувствительность 0,898. При положительном значении теста вероятность, что задний отдел стопы при ходьбе перед фазой переноса будет в вальгусном положении составляет 0,667. Напротив, при отрицательном значении теста, вероятность того, что задний отдел стопы при ходьбе перед фазой переноса будет в варусном положении составляет 0,800.

Таким образом, полученные данные позволяют с высокой долей вероятности предположить положение заднего отдела стопы при ходьбе перед осуществлением переноса по результатам нового теста.

Для оценки основных клинико-инструментальных параметров стоп у пациентов с разными значениями теста «вставания на цыпочки на одной ноге» было проведено сравнительное исследование.

Для оценки влияния результата теста «вставания на цыпочки на одной ноге» был проведен анализ категориальных признаков с использованием теста χ^2 , данные приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Результаты анализа категориальных признаков с использованием теста χ^2 (таблица сопряжения)

Исследуемый параметр		тест «вставания на цыпочки на одной ноге»		значение теста χ^2	p
		положительный	отрицательный		
положение заднего отдела перед переносом	вальгусное	10	5	12,2	< 0,001
	варусное	11	44		
коллапс среднего отдела при ходьбе	есть	2	3	0,006	0,937
	нет	8	13		
ретракция трехглавой мышцы голени	есть	13	16	0,538	0,463
	нет	8	15		

Данные таблицы 3.16 показывают, что результаты значений теста «вставания на цыпочки на одной ноге» имели статистически значимые различия лишь по положению заднего отдела стопы перед фазой переноса, что также позволяет интерполировать значения данного теста на результаты биомеханического исследования. С другой стороны, оценка коллапса среднего отдела при ходьбе не показала значимых различий, что не позволяет использовать данный параметр в рутинной практике. Также можно отметить, что результаты теста «вставания на цыпочки на одной ноге» не имели значимых различий в группах по наличию или отсутствию ретракции трехглавой мышцы голени (рисунок 3.33).

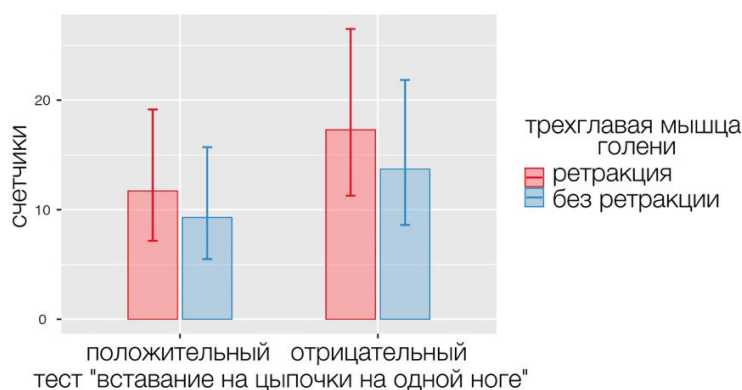


Рисунок 3.33. График распределения результатов теста «вставания на цыпочки на одной ноге» в группах пациентов с и без ретракции трехглавой мышцы голени (n=166).

Как можно отметить из рисунка 3.33, положительные значения теста встречались практически в равной мере как при ретракции трехглавой мышцы голени, так и без нее. Таким образом, функциональная ригидность заднего отдела стопы при ходьбе не всегда связана с ретракцией трехглавой мышцы голени. Это позволяет предположить вторичный характер ретракции трехглавой мышцы голени, то есть биомеханическую компенсацию пареза трехглавой мышцы голени. Также не все пациенты с ретракцией трехглавой мышцы голени имели функциональную ригидность. Данные после включения теста «вставания на цыпочки на одной ноге» в пересечение множеств с использованием других критериев плоскостопия приведены на диаграмме UpSet (рисунок 3.34).

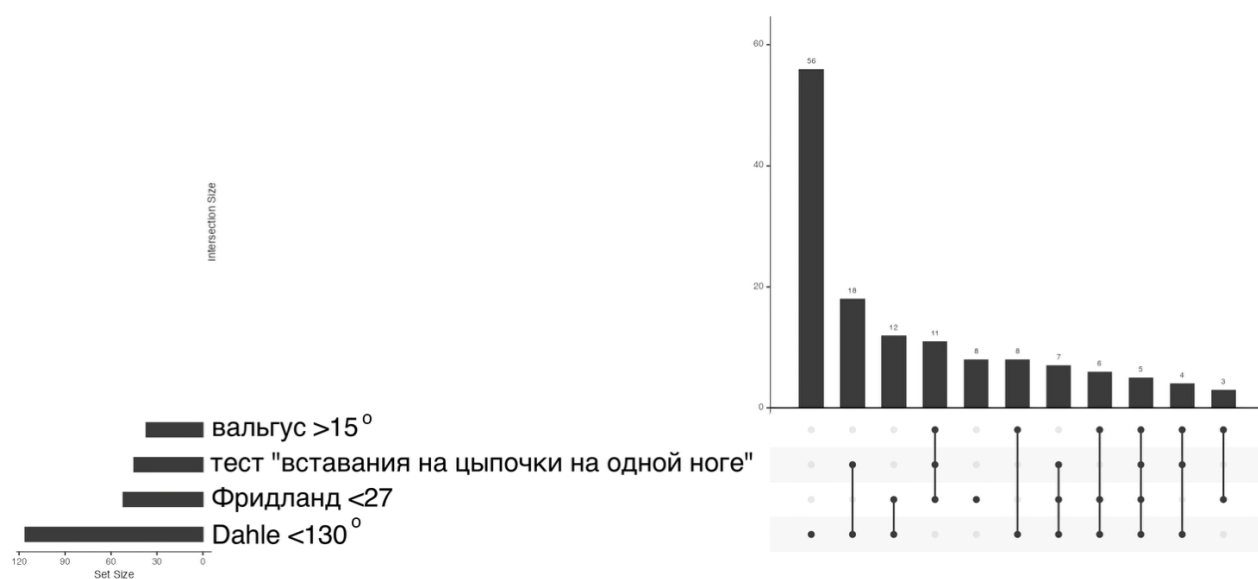


Рисунок 3.34. Диаграммы UpSet по исследуемым клиническим параметрам плоскостопия у детей (N=138).

Как можно увидеть из рисунка 3.34, максимальное количество пересечений было отмечено у коллапса свода стопы (угол Dahle $<130^\circ$) и увеличения вальгуса заднего отдела стопы (более 15°). Частота встречаемости критериев плоскостопия в сочетании с положительным тестом «вставания на цыпочки на одной ноге»: Угол Dahle $<130^\circ$ + тест – 13%. Индекс Фридланда <27 + вальгус $>15^\circ$ + тест – 8% случаев. Угол Dahle $<130^\circ$ + индекс Фридланда <27 + тест – 5,1%. Угол Dahle $<130^\circ$ + индекс Фридланда <27 + вальгус $>15^\circ$ + тест – 3,6%. Угол Dahle $<130^\circ$ + вальгус $>15^\circ$ + тест – 2,9%.

Необходимо отметить, что на первом месте из указанных факторов с положительным тестом «вставания на цыпочки на одной ноге» стоит угол Dahle. На втором – сочетание индекса Фридланда и вальгуса заднего отдела стопы. Из всех пациентов с плоскостопием, положительный тест «вставания на цыпочки на одной ноге» встречался в 33% случаев (рисунок 3.35).

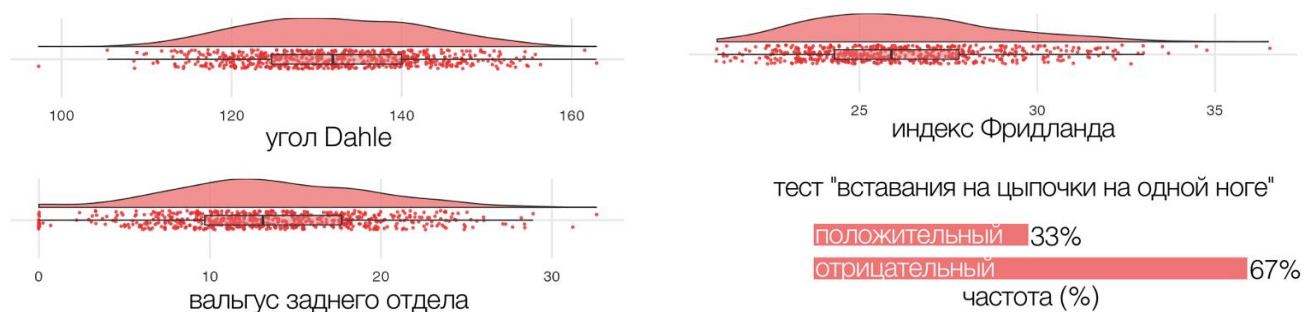


Рисунок 3.35. Частота встречаемости основных клинических критериев плоскостопия (n=166).

Как видно на рисунке 3.35, по отобранным критериям плоскостопия, медиана значений угла Dahle составила 132 (124; 141) $^\circ$; вальгуса заднего отдела стопы – 14,5 (11,3; 18,5) $^\circ$; индекса Фридланда – 25,7 (24,0; 28,1). При этом, положительный тест «вставания на цыпочки на одной ноге» в этой группе пациентов был отмечен в 33%. При анализе пациентов с значением угла Dahle $<130^\circ$, тест «вставания на цыпочки на одной ноге» был положительным в 48,4%; индекса Фридланда <27 – 42,1%; вальгуса заднего отдела $>15^\circ$ – в 58,8%.

При построении логической биномиальной регрессии, в которой тест «вставания на цыпочки на одной ноге» является зависимой переменной, а возраст – ковариатом (N=164), модель не показывает статистической значимости между

этими параметрами – девиантность=207; AIC=211; $R^2_{McF}=0,003$; $p=0,415$. Таким образом, результат теста «вставания на цыпочки на одной ноге» не зависит от возраста в рамках исследуемых возрастных границ.

Таким образом, функциональная ригидность заднего отдела стопы встречается у трети пациентов с плоскостопием. Она связана с выраженностью деформации стопы, однако, наиболее чувствительным показателем является вальгус стопы - при вальгусе заднего отдела стопы, превышающем 15° , имеется высокая вероятность функциональной ригидности заднего отдела стопы.

3.3.1 Результаты оценки жалоб на основании Оксфордского опросника состояния стопы и голеностопного сустава

Для оценки субъективных параметров у пациентов с плоскостопием проведено сравнительное исследование, заключающееся в анализе данных анкетирования детей с различными биомеханическими особенностями стоп при использовании Оксфордского опросника состояния стопы и голеностопного сустава. Данные результатов опроса пациентов представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Результаты анкетирования пациентов по Оксфордскому опроснику состояния стопы и голеностопного сустава в зависимости от биомеханических особенностей

	Положение заднего отдела стопы перед переносом			Тест «вставания на цыпочки на одной ноге»		
	n	χ^2	p	n	χ^2	p
Физическое состояние1	44	1,69	0,43	49	3,00	0,22
Физическое состояние2	42	1,87	0,59	47	8,58	0,04
Физическое состояние3	44	7,06	0,13	49	2,00	0,74
Физическое состояние4	44	5,36	0,15	49	6,39	0,09
Физическое состояние5	44	2,36	0,50	49	5,14	0,16
Физическое состояние.6	44	4,78	0,09	49	2,19	0,34
Школа и игры7	44	1,66	0,44	49	3,86	0,15
Школа и игры8	44	1,26	0,26	49	1,24	0,27
Школа и игры9	44	0,98	0,64	49	2,98	0,23
Школа и игры10	44	0,56	0,75	48	1,43	0,49
Эмоции11	44	10,6	0,01	48	4,88	0,18
Эмоции12	42	10,3	0,04	46	5,70	0,22
Эмоции13	44	1,25	0,74	48	1,30	0,73
Эмоции14	44	0,27	0,60	48	0,87	0,35
Обувь15	44	3,76	0,44	48	9,26	0,06

Анализ данных таблицы 3.17 показал, что значимые различия между группами пациентов - положительный и отрицательный тест «вставания на цыпочки на одной ноге» были отмечены только по разделу – «физическое состояние 2» (Бывает ли тебе трудно бегать из-за твоих стоп?). В группах пациентов в зависимости от положения заднего отдела стопы перед переносом были получены значимые различия по разделам «Эмоции 11 и 12» (Беспокоит ли тебя то, как выглядят твои стопы? Беспокоит ли тебя твоя походка?). Графики значимых различий и различий на границе значимости приведены на рисунке 3.36.

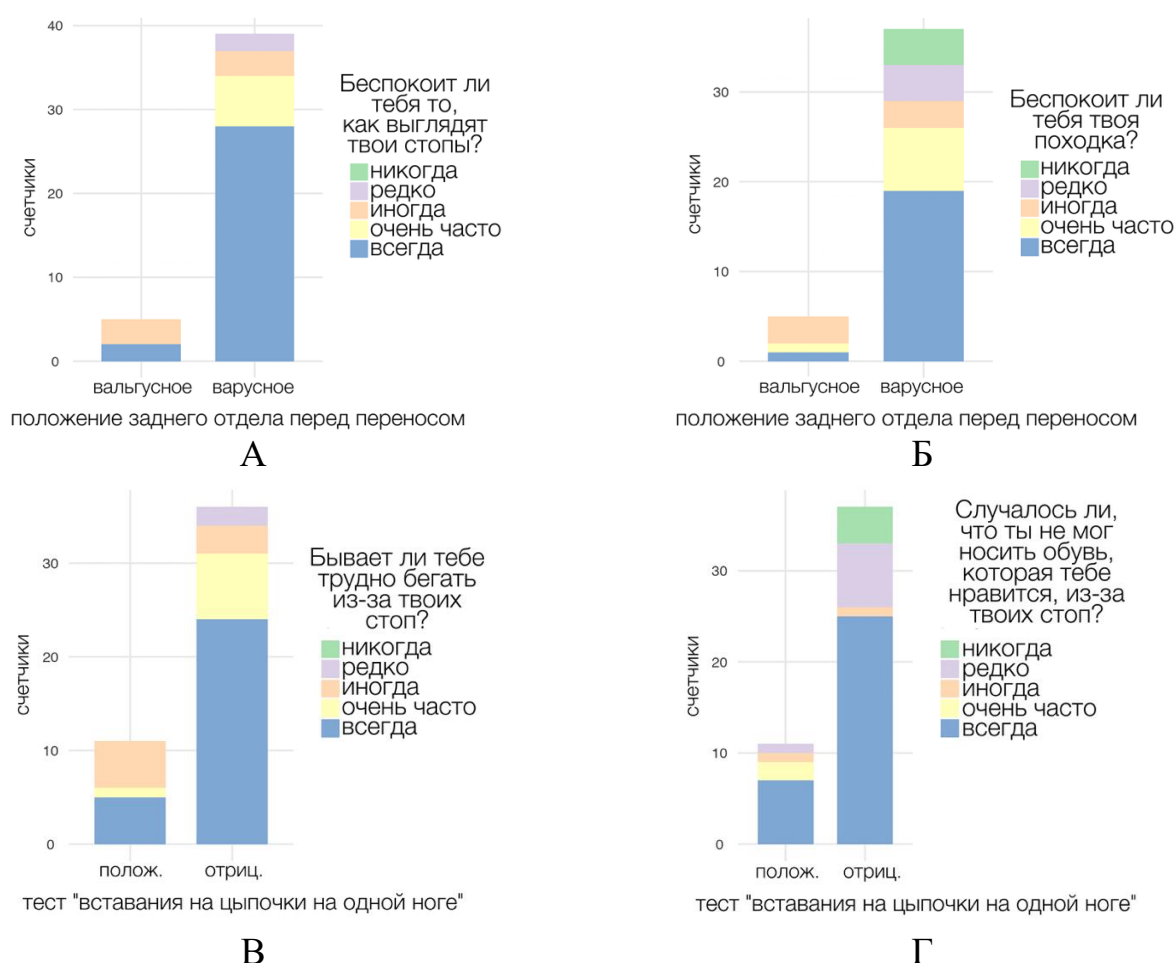


Рисунок 3.36. Графики результатов анкетирования пациентов в зависимости от результатов клинических тестов и анализа походки. А – раздел 11 «Эмоции»; Б – раздел 12 «Эмоции»; В – раздел 2 «Физическое состояние»; Г – раздел 15 «Трудности в использовании обуви».

Как можно отметить из графика 3.36, пациентов, у которых задний отдел стопы занимал варусное положение перед фазой переноса при ходьбе, чаще

беспокоила походка (эмоции 12) и то, как выглядят их стопы (эмоции 11). То есть эмоциональная сфера у пациентов без нарушений походки более страдала по сравнению с пациентами с биомеханическими нарушениями. Пациенты без функциональных нарушений чаще испытывали трудности с бегом (физическое состояние 2) по сравнению с пациентами с положительным тестом «вставания на цыпочки на одной ноге». Также пациенты без функциональных нарушений испытывали трудности в связи с тем, что им приходилось носить обувь, которая им не нравится, из-за их стоп (Обувь 15).

Исходя из полученных данных, выделена новая форма плоскостопия – «функционально ригидное плоскостопие». Данная форма плоскостопия была сформирована из группы пациентов с мобильным плоскостопием исходя из значимого количества различий как по анатомическим, так и по функциональным показателям. Таким образом, деление плоскостопия на группы осуществляется как на основании анатомических критериев (анатомически ригидное плоскостопие, которое включает пациентов с анатомическими нарушениями, обуславливающими ограничение мобильности суставов предплюсны), так и на основании функциональных критериев (функционально ригидное плоскостопие, которое включает пациентов без анатомических нарушений, но имеющих ограничение функции стопы). Плоскостопие, сочетающееся с укорочением трехглавой мышцы голени, вероятно, является переходным состоянием между функционально ригидным и функционально мобильным плоскостопием, поскольку, исходя из полученных данных, ретракция трехглавой мышцы голени является анатомической компенсацией снижения силы этой мышцы.

3.3.2 Взаимосвязь формы стопы и жалоб пациентов на основании результатов Оксфордского опросника состояния стопы и голеностопного сустава

Для оценки связи формы стопы и результатов анкетирования пациентов был проведен корреляционный анализ (n=52). Корреляционные матрицы изображены на рисунке 3.37.

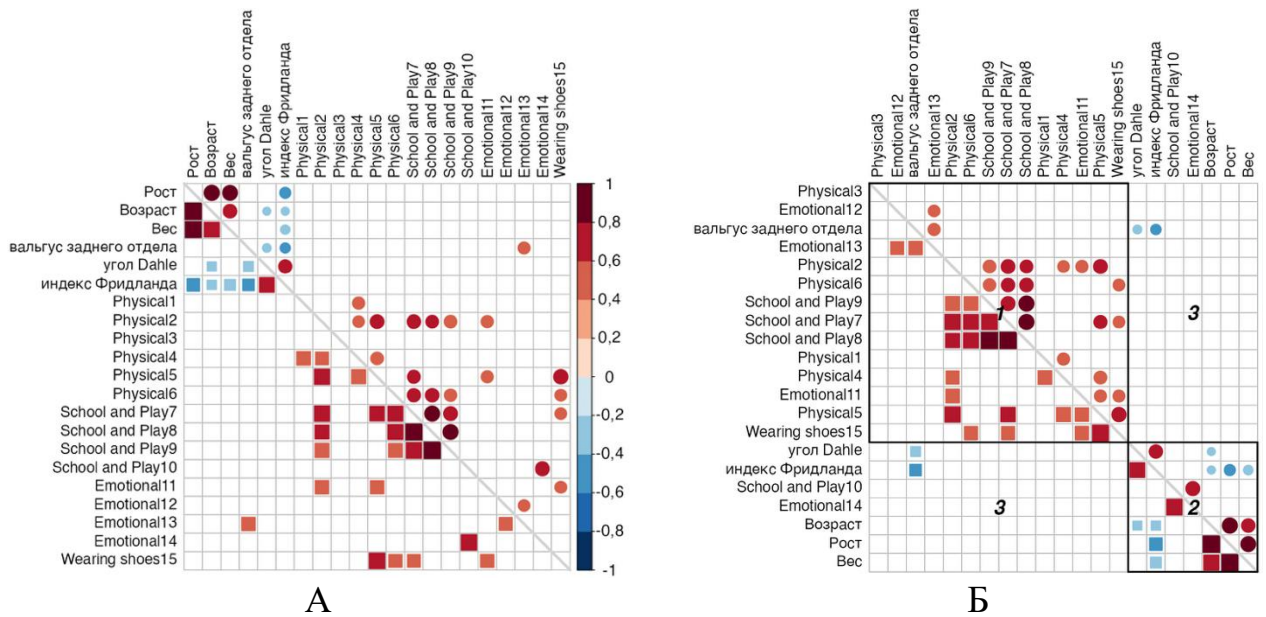


Рисунок 3.37. Корреляционные матрицы между антропометрическими параметрами и результатами анкетирования пациентов. А – корреляционная матрица; Б – иерархическая кластеризация. Цветами отмечены значимые связи ($p < 0,05$).

Как можно увидеть из рисунка 3.37А, из антропометрических критериев лишь одну значимую связь с результатами анкетирования (Emotional 13) имела величина вальгуса заднего отдела стопы (коэффициент Spearman = 0,544; $p = 0,013$). Это означает, что с увеличением вальгуса заднего отдела пациенты чаще испытывали неловкость перед другими из-за своих стоп. Остальные значимые корреляционные связи были между разделами шкалы-опросника. Из них, наибольшее количество значимых связей имел раздел Physical 2 (Бывает ли тебе трудно бегать из-за твоих стоп?). При утвердительном ответе на этот вопрос повышалась частота утвердительных ответов на другие вопросы:

- Бывают ли у тебя боли в стопах?;
- Бывают ли у тебя неприятные ощущения и боли в ногах после ходьбы или бега?;
- Случилось ли, что из-за стоп ты не мог играть во дворе с друзьями наравне?;
- Случалось ли что из-за стоп ты не смог пойти гулять дальше своего двора?;

- Случалось ли что из-за стоп ты не смог пойти на урок или занятие физкультурой?;
- Беспокоит ли тебя то, как выглядят твои стопы?

При разделении полученных данных методом иерархической кластеризации (метод агломерации Ward), данные были разделены на 3 кластера (рисунок 3.37Б).

Таким образом, клинические параметры стоп у детей с плоскостопием имеют небольшое количество корреляционных связей с результатами Оксфордского опросника. Единственная положительная умеренная корреляционная связь была отмечена между вальгусом заднего отдела стопы и эмоциональной сферой пациента.

3.4 Инструментальная диагностика плоскостопия

3.4.1 Плантографическое исследование детей с плоскостопием

Данные дескриптивной статистики по исследуемым плантографическим параметрам приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Данные описательной статистики анализируемых параметров (n=152)

Параметр	М (Q1; Q3).	Коэффициент вариации
Угол Schwartz и Clarke/ $^{\circ}$	49 (43,13; 53)	24,7%
Индекс Chippaux-Smirak	36,8 (31,15; 41,83)	29,9%
Индекс Staheli	63,6 (53,33; 71,38)	30,8%
Индекс Cavanagh и Rodgers	24,05 (22,03; 25,59)	17,1%
Индекс Irwin	22,9 (19,35; 26,58)	36,8%

Как можно увидеть из таблицы 3.18, ширина межквартильного размаха по исследуемым признакам не была высокой, и по большинству параметров (за исключением индекса Irwin) коэффициент вариации не превышал 33%, что свидетельствует об однородности выборки.

Для определения взаимного влияния плантографических критериев с основными клиническими параметрами проведен корреляционный анализ, данные которого приведены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Корреляционная матрица исследуемых параметров (n=152)

параметр	Возраст	Масса	Рост	Вальгус	Угол Dahle	Инд. Фридланда	Угол Schwartz и Clarke	Инд. Chipraux-Smirak	Инд. Staheli	Инд. Cavanagh и Rodgers	Инд. Irwin
Возраст	1	0,68	0,85	-0,00	-0,36	-0,44	-0,09	-0,07	-0,04	-0,02	-0,02
Масса	0,68	1	0,81	-0,03	-0,23	-0,35	0,04	0,15	0,22	0,22	-0,10
Рост	0,85	0,81	1	-0,00	-0,32	-0,47	-0,01	-0,05	-0,01	-0,03	0,01
Вальгус	-0,00	-0,03	-0,00	1	-0,12	-0,25	-0,13	-0,05	-0,20	-0,01	-0,07
Угол Dahle	-0,36	-0,23	-0,32	-0,12	1	0,56	0,20	-0,22	-0,10	-0,27	0,25
Индекс Фридланда	-0,44	-0,35	-0,47	-0,25	0,56	1	0,12	-0,29	-0,16	-0,27	0,23
Угол Schwartz и Clarke	-0,09	0,04	-0,01	-0,13	0,20	0,12	1	-0,25	-0,22	-0,24	0,53
Инд. Chipraux-Smirak	-0,07	0,15	-0,05	-0,05	-0,22	-0,29	-0,25	1	0,86	0,89	-0,65
Инд. Staheli	-0,04	0,22	-0,01	-0,20	-0,10	-0,16	-0,22	0,86	1	0,81	-0,52
Инд. Cavanagh и Rodgers	-0,02	0,22	-0,03	-0,01	-0,27	-0,27	-0,24	0,89	0,81	1	-0,66
Инд. Irwin	-0,02	-0,10	0,01	-0,07	0,25	0,23	0,53	-0,65	-0,52	-0,66	1
*жирным шрифтом отмечены значимые корреляционные связи, коэффициент Spearman											

Анализ данным таблицы 3.19 показывает, что исследуемые плантографические параметры не имели умеренных и сильных корреляционных связей с клиническими параметрами. Помимо ожидаемых сильных корреляционных связей между возрастом, массой тела и ростом, наибольшее количество статистически значимых умеренных и сильных корреляционных связей с другими плантографическими параметрами имели индексы, учитывающие площадь зоны анемии на плантограмме к площади отпечатка стопы (индекс Irwin и индекс Cavanagh и Rodgers). Из плантографических показателей, характеризующих линейные и угловые величины, наибольшее количество статистически значимых умеренных и сильных корреляционных связей имел индекс Chipraux-Smirak.

Для определения характера сильных корреляционных связей между плантографическими параметрами был выполнен регрессионный анализ, графики которого приведены на рисунке 3.38.

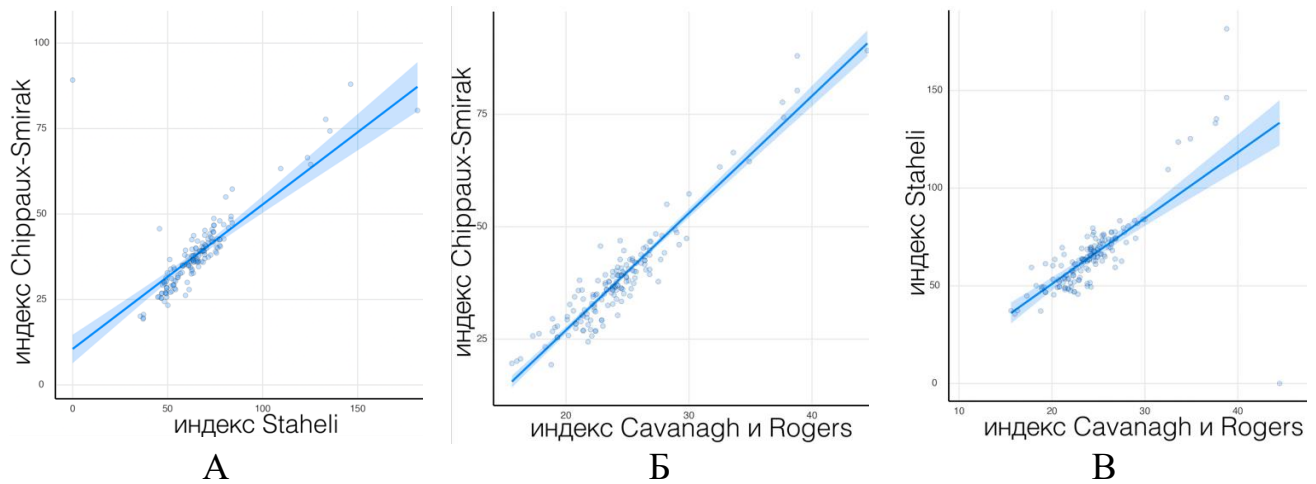


Рисунок 3.38. Графики регрессионных моделей между плантографическими индексами, имеющими сильные корреляционные связи ($n=152$). А – индексы Chippaux-Smirak – Staheli; Б – индексы Chippaux-Smirak – Cavanagh и Rodgers; В – индексы Staheli – Cavanagh и Rodgers.

Как можно увидеть на рисунке 3.38, характер связи между исследуемыми параметрами приближается к линейной регрессионной модели (прямая линия на графиках), графики квадратичной регрессионной модели (пунктирная линия на графиках) имеют незначительные отличия от линейной в парах с индексом Staheli (рисунок 3.38А, В). В то время как по паре признаков «индекс Cavanagh и Rodgers - индекс Chippaux-Smirak» график квадратичной регрессионной модели полностью совпадает с графиком линейной регрессионной модели, что характеризует эту связь как линейную. Разброс значений от графиков регрессионных моделей по признакам в паре с индексом Staheli (рисунок 3.38А, В) позволяет с меньшей степенью достоверности описывать данными моделями связь между признаками (коэффициент детерминации (R^2) по парам с индексом Staheli не превышал 0,58). С другой стороны, значения индексов в паре «индекс Cavanagh и Rodgers - индекс Chippaux-Smirak» не имели значимого разброса от графика регрессионной модели, что позволяет с высокой долей достоверности описывать данным графиком их взаимное влияние ($R^2=0,90$).

Таким образом, исследуемые плантографические критерии формы стопы имеют лишь слабые корреляционные связи с основными критериями, характеризующими форму стопы при клиническом исследовании (вальгус заднего

отдела стопы, клинический угол продольного свода стопы и индекс Фридланда), что не позволяет интерполировать данные плантографии на данные клинической оценки формы стопы. Из исследуемых плантографических углов и индексов наибольшее количество статистически значимых умеренных и сильных корреляционных связей с другими индексами имели индексы, оценивающие площадь зоны анемии на плантограмме (индекс Cavanagh и Rodgers, индекс Irwin), а также индекс Chippaux-Smirak, что делает их более ценными при оценке формы стопы по плантограмме.

Для определения связи исследуемых плантографических параметров с клиническими формами плоскостопия (анатомически ригидное, функционально ригидное и мобильное) был проведен однофакторный дисперсионный анализ Kruskal — Wallis (фактором выступал диагноз), данные которого приведены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Данные непараметрического однофакторного дисперсионного анализа исследуемых плантографических критериев в зависимости от диагноза (n=152)

Критерии	χ^2	p	ϵ^2
Угол Schwartz и Clarke/ $^{\circ}$	0,4304	0,512	0,014
Индекс Chippaux-Smirak	3,430	0,064	0,111
Индекс Staheli	3,753	0,053	0,121
Индекс Cavanagh и Rodgers	3,123	0,077	0,101
Индекс Irwin	2,373	0,123	0,076

Как можно увидеть из таблицы 3.20, форма плоскостопия не оказывала значимого влияния на исследуемые плантографические индексы. Таким образом, плантографическое исследование для дифференциального диагноза форм плоскостопия не является информативным методом исследования.

3.4.2 Рентгенометрическое исследование детей с плоскостопием

Данные рентгенографического исследования детей с плоскостопием представлены в таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Рентгенометрические показатели, характеризующие выраженность деформации стопы при плоскостопии (n=260)

Исследуемый угол	Ригидное плоскостопие	Мобильное плоскостопие	Значимость*
Латеральный угол Kite /°	52,90 (47,18; 57,70)	50,30 (45,30; 57,80)	p=0,002
Латеральный угол Meary/°	27,80 (21,18; 35,73)	20,40 (12,10; 28,10)	p>0,001
Угол наклона пяточной кости/°	9,60 (6,40; 13,35)	13,90 (10,20; 17,10)	p>0,001
Таранно-большеберцовый угол/°	51,15 (44,04; 57,05)	55,90 (48,60; 62,30)	p>0,001
Угол продольного свода/°	160,40 (153,85; 165,85)	156,00 (149,70; 159,20)	p>0,001
Передне-задний угол Kite/°	29,85 (24,92; 34,18)	28,80 (24,90; 33,65)	p=0,694
Передне-задний угол Meary/°	16,65 (11,45; 23,05)	16,10 (11,65; 21,30)	p=0,361
Угол латерального смещения ладьевидной кости/°	26,70 (19,58; 33,65)	25,80 (17,55; 30,85)	p=0,148
Угол приведения переднего отдела/°	18,20 (13,68; 21,75)	19,20 (15,80; 22,60)	p=0,206
* тест Brunner-Munzel			

После анализа данных таблицы 3.21, установлено, что в группе пациентов с ригидным плоскостопием отмечались значимые различия по рентгенометрическим показателям, измеряемым на боковых рентгенограммах. По величинам, измеряемым на передне-задних рентгенограммах, статистически значимых различий отмечено не было.

Таким образом, пациенты с ригидным плоскостопием имели значимо большую степень коллапса продольного свода стопы.

3.4.3 Оценка клинико-рентгенографических взаимосвязей у пациентов с плоскостопием

С целью оценки взаимосвязи клинических и рентгенографических показателей стоп у детей с плоскостопием проведено исследование, заключающееся в оценке корреляционных связей между основными клиническими и рентгенометрическими показателями, характеризующими выраженность деформации стопы. Данные корреляционного и регрессионного анализа, характеризующиеся двусторонней значимостью ($p \leq 0,01$), приведены в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Данные корреляционного и регрессионного анализа клинико-рентгенологических параметров стоп у пациентов с плоскостопием, характеризующие сильные и умеренные связи (n=260)

Клинико-рентгенологические параметры стопы	Коэфф. корреляции Spearman, ρ	Коэфф. детерминации, R^2	
		лин. модель	квад. модель
угол Kite Lat.- угол Meary Lat.	0,708	0,491	0,493
Таранно-большеберцовый угол- латеральный угол Meary	-0,791	0,618	0,618
Угол продольного свода рентгенологический- угол Meary Lat.	0,761	0,597	0,606
Таранно-большеберцовый угол- угол Kite Lat.	-0,664	0,400	0,423
Угол продольного свода рентгенологический- угол наклона пяточной кости	-0,648	0,449	0,458
угол Meary AP- угол латерального смещения ладьевидной кости	0,436	0,158	0,158
Вальгус заднего отдела- угол латерального смещения ладьевидной кости	0,325	0,117	0,118
Meary Lat.- угол латерального смещения ладьевидной кости	0,410	0,090	0,090
Угол продольного свода рентгенологический- угол Dahle	-0,439	0,196	0,201
Таранно-большеберцовый угол- угол латерального смещения ладьевидной кости	-0,371	0,088	0,089
Угол наклона пяточной кости- угол Dahle	0,370	0,161	0,162
угол Meary Lat.- угол Dahle	-0,435	0,203	0,208
Угол продольного свода рентгенологический- таранно-большеберцовый угол	-0,560	0,375	0,377
Угол продольного свода рентгенологический- угол Kite Lat.	0,335	0,226	0,229
угол Meary AP- угол приведения переднего отдела	-0,475	0,354	0,356
Угол наклона пяточной кости- угол Meary Lat.	-0,516	0,351	0,351
Угол наклона пяточной кости- таранно-большеберцовый угол	0,395	0,219	0,219
индекс Фридланда- угол Dahle	0,349	0,129	0,129
индекс Фридланда- угол продольного свода рентгенологический	-0,421	0,204	0,204
индекс Фридланда- угол наклона пяточной кости	0,326	0,133	0,140
индекс Фридланда- угол Meary Lat.	-0,369	0,122	0,126
Угол Dahle- тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	0,420	0,181	0,184
Угол продольного свода рентгенологический- тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	-0,467	0,200	0,204
Таранно-большеберцовый угол- тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	0,340	0,118	0,120
Угол наклона пяточной кости- тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	0,312	0,106	0,107
угол Meary Lat.- тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	-0,436	0,176	0,177
Тыльное сгибание стопы - тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	0,787	0,599	0,604

Как можно увидеть в таблице 3.22, сильные корреляционные связи были отмечены лишь между рентгенометрическими показателями (за исключением различных вариантов тыльного сгибания стопы). Корреляционные связи между клиническими и рентгенометрическими показателями были умеренными или слабыми. Наибольшее количество умеренных связей с рентгенометрическими параметрами имели следующие клинические параметры: тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца, угол продольного свода клинический и подометрический индекс Фридланда. Для определения характера влияния исследуемых параметров были построены графики регрессии с использованием линейных и квадратичных регрессионных моделей по параметрам, характеризующимися сильными корреляционными связями (рисунок 3.39).

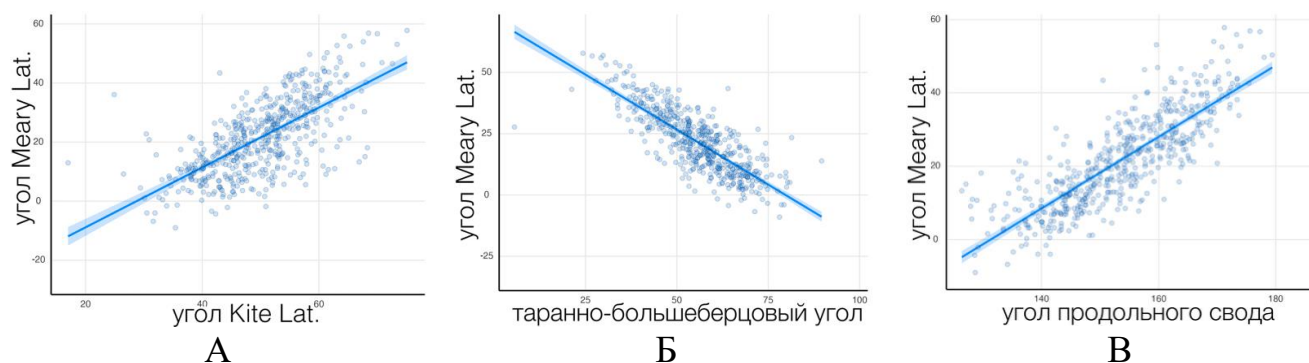


Рисунок 3.39. Графики регрессионных моделей по параметрам, характеризующимся сильными корреляционными связями. А – латеральный угол Kite – латеральный угол Meary; Б – латеральный угол Meary – таранно-большеберцовый угол; В – латеральный угол Meary – угол продольного свода.

Как можно отметить из рисунка 3.39, характер связей между исследуемыми параметрами в большинстве описывался линейной регрессионной моделью. Направленность связей между исследуемыми параметрами логически объяснялась взаимными изменениями указанных параметров при изменении формы стопы – увеличение деформации по одним параметрам характеризовалось увеличением деформации по другим параметрам.

Графики регрессионных моделей между клиническими и рентгенологическими показателями, имеющими наибольший коэффициент корреляции, приведены на рисунке 3.40.

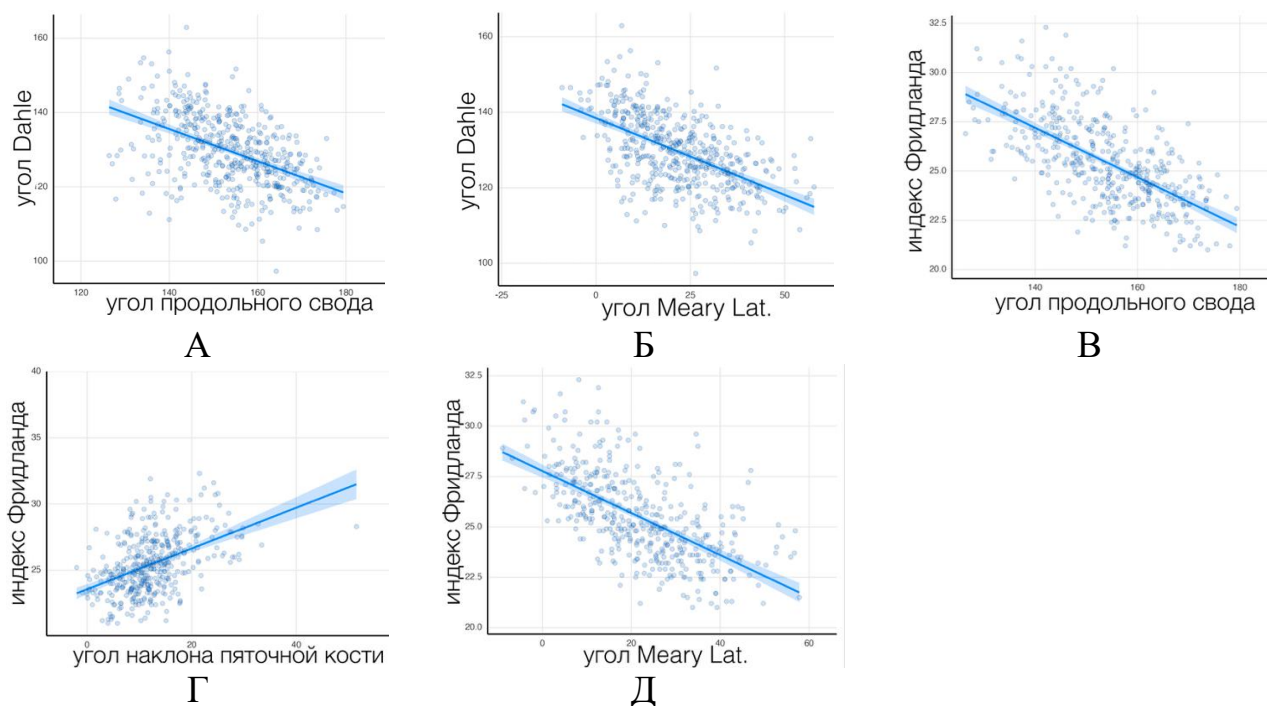


Рисунок 3.40. Графики регрессионных моделей между клиническими и рентгенологическими показателями. А – угол продольного свода клинический – угол продольного свода рентгенологический; Б – угол продольного свода клинический – латеральный угол Meary; В – латеральный угол Meary – индекс Фридланда; Г – индекс Фридланда – угол наклона пяточной кости; Д – индекс Фридланда – латеральный угол Meary.

Как можно отметить из рисунка 3.40, в большинстве случаев характер связей между исследуемыми критериями характеризовался линейной регрессионной моделью. Большой разброс значений каждого наблюдения вокруг построенных графиков регрессионных моделей характеризовался меньшим коэффициентом детерминации (R^2) и соответственно меньшим процентом выборки, объясняемой данной регрессионной моделью. Таким образом, корреляционные связи между клиническими и рентгенометрическими параметрами стоп у детей с плоскостопием характеризовались лишь умеренной силой. На этом основании можно сделать вывод, что клинические и рентгенологические данные являются независимыми источниками, характеризующими форму стопы. Из всех клинических критериев два варианта тыльного сгибания стопы (тыльное сгибание стопы и тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца) имели сильную корреляционную связь ($r=0,74$, $R^2=0,6$).

Для графического отображения имеющихся корреляционных связей между клиническими и рентгенометрическими показателями при плоскостопии составлена схема корреляционных плеяд П.В. Терентьева, которая изображена на рисунке 3.41.

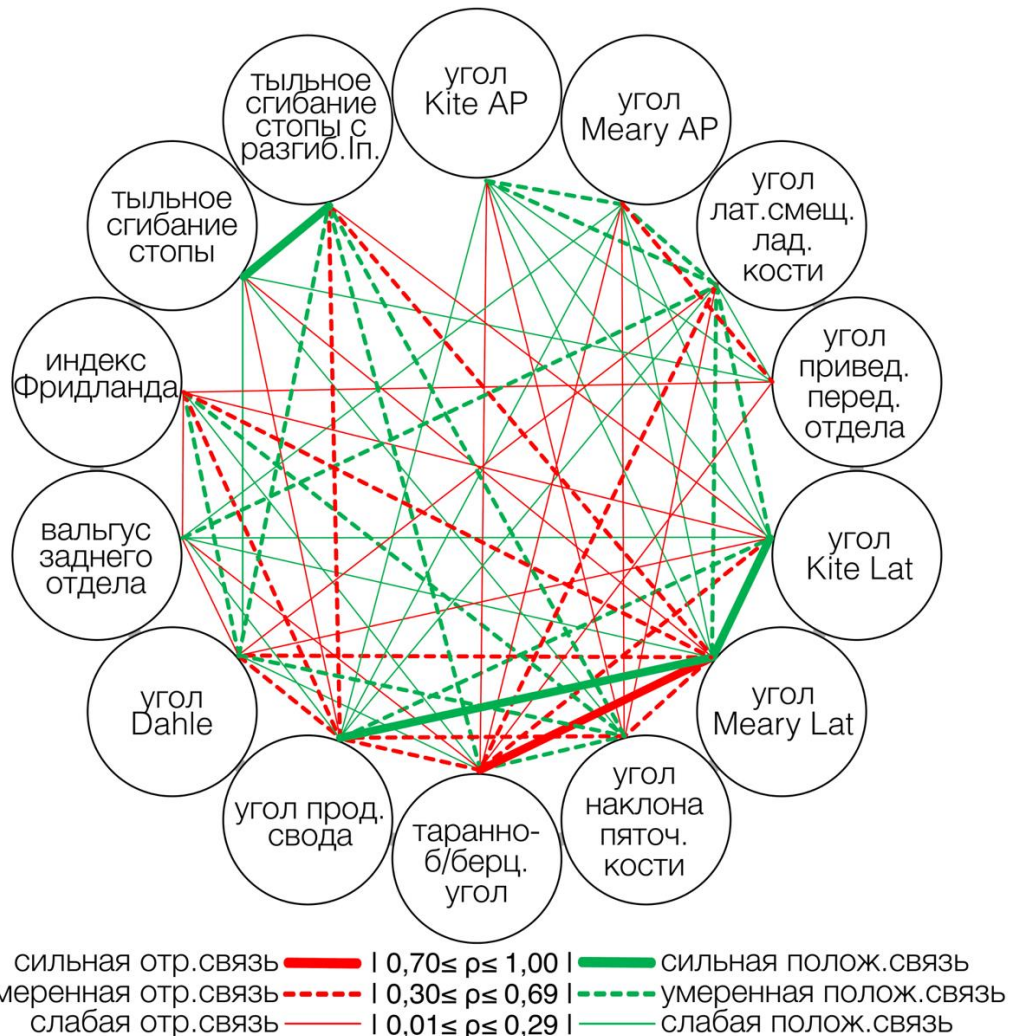


Рисунок 3.41. Схема корреляционных плеяд П.В. Терентьева. Разными линиями отмечены значимые корреляционные связи между исследуемыми признаками (корреляция значима на уровне $p \leq 0,05$).

Как можно увидеть на рисунке 3.41, сильные корреляционные связи отмечены между рядом рентгенологических параметров (угол продольного свода, рентгенологический, таранно-большеберцовый угол, латеральный угол Meary и латеральный угол Kite) и между двумя вариантами оценки величины тыльного сгибания стопы. Количество значимых корреляционных связей между исследуемыми параметрами приведено в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – Количество значимых корреляционных связей между исследуемыми клинико-рентгенологическими параметрами стоп у детей с плоскостопием

Исследуемый параметр	Сильные связи	Умеренные связи	Слабые связи
	Количество (по возрастанию)		
Латеральный угол Meary	3	4	4
Угол продольного свода рентгенологический	1	5	5
Таранно-большеберцовый угол	1	4	6
Латеральный угол Kite	1	3	5
Тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	1	5	1
Угол латерального смещения ладьевидной кости	-	6	4
Угол Dahle	-	4	5
Угол наклона пяточной кости	-	4	4
Подометрический индекс Фридланда	-	4	4
Передне-задний угол Meary	-	3	6
Передне-задний угол Kite	-	2	6
Вальгус заднего отдела	-	1	7
Угол приведения переднего отдела	-	1	5
Тыльное сгибание стопы	-	-	5

Таким образом, клинические и рентгенологические критерии плоскостопия имеют умеренные и слабые корреляционные связи. Исходя из анализа корреляций клинико-рентгенологических параметров у детей с плоскостопием, критерии, имеющие большее количество корреляционных связей это: латеральный угол Meary, угол продольного свода рентгенологический, таранно-большеберцовый угол, латеральный угол Kite и угол латерального смещения ладьевидной кости, тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца, угол продольного свода клинический и подометрический индекс Фридланда.

3.4.4 Новые рентгенометрические критерии, характеризующие положение подтаранного сустава

Из имеющихся рентгенологических параметров плоскостопия отражают положение подтаранного сустава всего два угла: передне-задний и латеральный угол Kite. Учитывая ключевую роль подтаранного сустава в патогенезе plano-вальгусной деформации стопы, а также незначительное количество сильных и умеренных корреляционных связей с рентгенологическими параметрами стоп при отсутствии сильных и умеренных корреляционных связей с клиническими

параметрами (таблица 3.23), нами был разработан ряд дополнительных рентгенометрических критериев, характеризующих положение подтаранного сустава.

3.4.4.1 Таранно-пяточное соотношение

С целью качественной и количественной оценки положения подтаранного сустава был разработан новый рентгенометрический критерий – таранно-пяточное соотношение (патент РФ на изобретение «Способ определения соотношений в подтаранном суставе при плоскостопии» №2806739, 03.11.2023). Методика расчета таранно-пяточного соотношения изображена на рисунке 3.42.

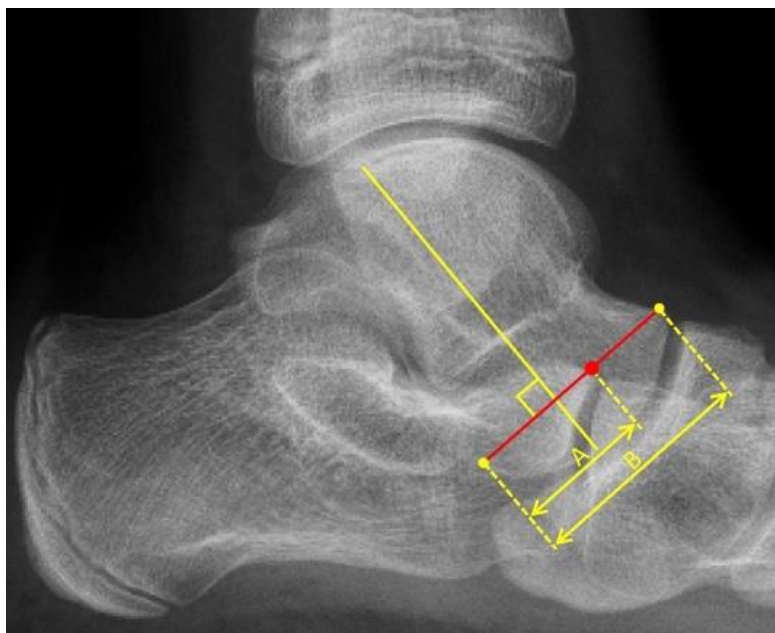


Рисунок 3.42. Методика расчета таранно-пяточного соотношения.

Для расчета таранно-пяточного соотношения (рисунок 3.42) проводится линия оси таранной кости (желтая линия). К этой линии проводится перпендикуляр (красная линия), ограничивающийся верхней и нижней точками головки таранной кости (желтые точки) и пересекающий апекс переднего отростка пяточной кости (красная точка). Путем отношения части переднего отростка пяточной кости, пересекающей головки таранной кости, к ширине головки таранной кости рассчитывается таранно-пяточное соотношение: $A / B \times 100\%$.

С целью оценки нового рентгенометрического критерия проведен корреляционный и регрессионный анализ с основными клиническими и рентгенометрическими показателями степени деформации стопы. Значимые корреляционные связи указаны в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Данные корреляционного и регрессионного анализа таранно-пяточного соотношения и основных клинко-рентгенологических параметров стоп пациентов с плоскостопием, характеризующие значимые сильные и умеренные связи (n=260)

Клинко-рентгенологические параметры стопы	Коэффициент корреляции Pearson, r	Коэффициент детерминации, R ²	
		линейн. модель	квадр. модель
Передне-задний угол Meary	0,470	0,216	0,218
Угол латерального смещения ладьевидной кости	0,403	0,154	0,155
Латеральный угол Meary	0,628	0,592	0,574
Латеральный угол Kite	0,582	0,466	0,466
Угол наклона пяточной кости	-0,467	0,211	0,213
Таранно-большеберцовый угол	-0,478	0,371	0,371
Угол продольного свода	0,492	0,483	0,613
Угол Dahle	-0,407	0,402	0,404
Подометрический индекс Фридланда	-0,566	0,319	0,343
Вальгус заднего отдела стопы	0,409	0,258	0,278
Тыльное сгибание стопы+пассивное разгибание I пальца	0,468	0,246	0,274

Как можно увидеть из таблицы 3.24, новый рентгенометрический критерий имел 4 умеренные связи с клиническими параметрами стоп у пациентов с плоскостопием. Стоит отметить, что с изолированным тыльным сгибанием стопы исследуемый параметр не имел значимых связей. Таранно-пяточное соотношение имело 2 сильные корреляционные связи со следующими рентгенометрическими критериями: латеральный угол Meary и угол продольного свода рентгенологический. Исходя из значений коэффициента детерминации (более 50% выборки), по данным корреляционным связям построены графики регрессионных моделей, которые изображены на рисунке 3.43.

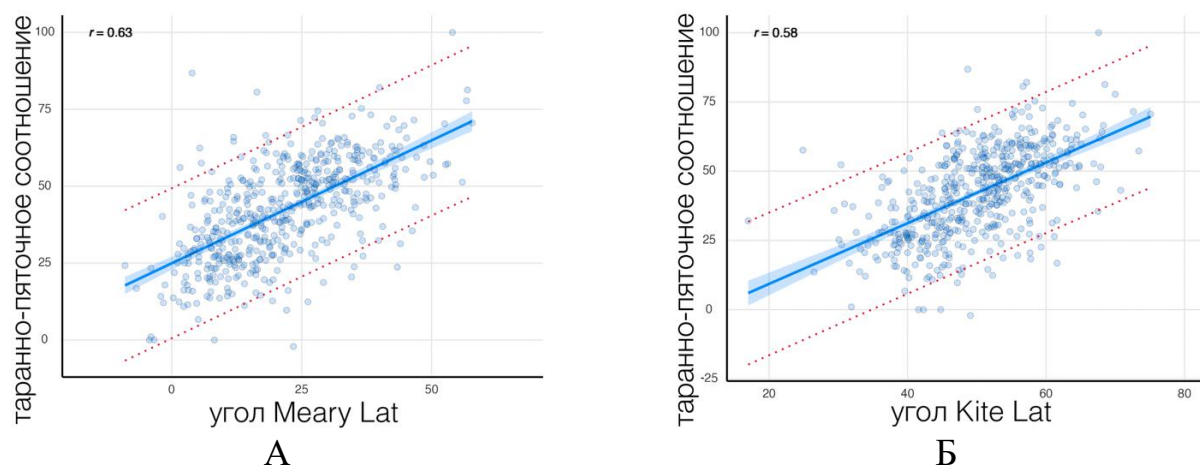


Рисунок 3.43. Графики регрессионных моделей, характеризующие сильные корреляционные связи с параметром «таранно-пяточное соотношение». А – латеральный угол Meary; Б – латеральный угол Kite.

Из представленных на рисунке графиков следует 3.43, что увеличение таранно-пяточного соотношения характеризовалось увеличением деформации стопы по исследуемым угловым величинам. Характер корреляционных связей приближался к линейной модели. Графики регрессионных моделей по исследуемому параметру с клиническими критериями приведены на рисунке 3.44.

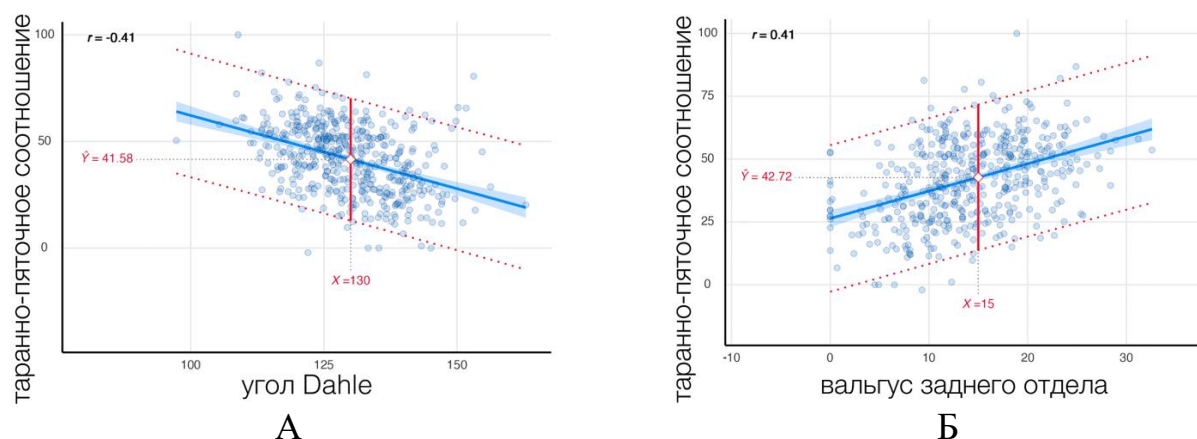


Рисунок 3.44. Графики регрессионных моделей между таранно-пяточным соотношением и клиническими параметрами стоп. А – угол Dahle; Б – вальгус заднего отдела.

Исходя из наиболее часто используемых клинических критериев плоскостопия, которые являются относительным показанием к хирургическому лечению (вальгус заднего отдела стопы более 15° , клинический угол свода более 130°) – указанные клинические критерии соответствуют величине таранно-

пяточного соотношения 40–50% (красные пунктирные линии на рисунке 3.44). Таким образом, увеличение таранно-пяточного соотношения на латеральных рентгенограммах более 50% может быть рассмотрено как дополнительный критерий, характеризующий степень выраженности деформации стопы.

3.4.4.2 Угол тарзального синуса

С целью оценки положения подтаранного сустава на основании анализа положения тарзального синуса был разработан новый рентгенометрический критерий – угол тарзального синуса (патент РФ на изобретение «Способ определения угла тарзального синуса стопы» №2801607, 11.08.2023). Методика расчета указанного угла изображена на рисунке 3.45.

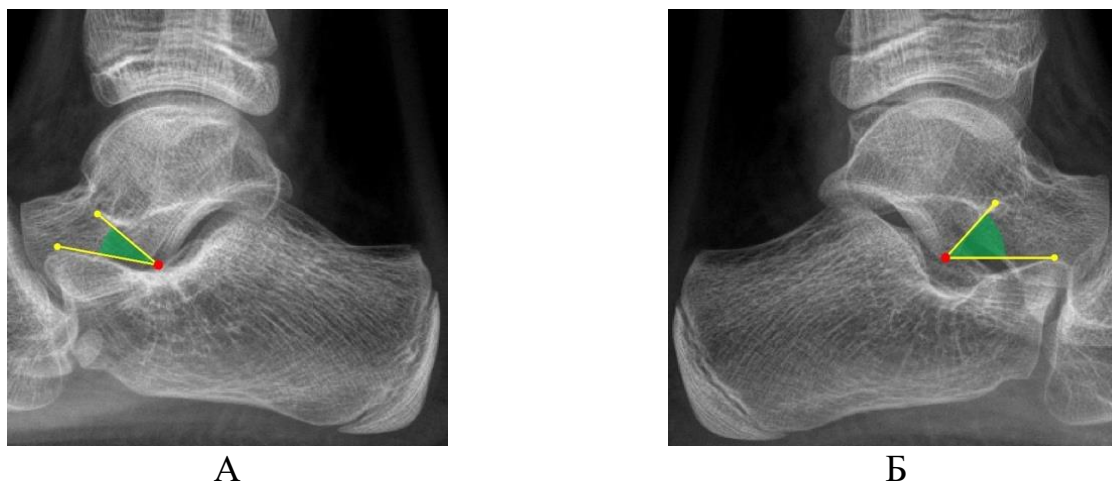


Рисунок 3.45. Методика расчета угла тарзального синуса. А – угол тарзального синуса при плоскостопии; Б – угол тарзального синуса при нейтральном положении стопы.

Для построения угла тарзального синуса определяется вершина латерального отростка таранной кости (рисунок 3.45 А, Б, красные точки), затем ставятся точки в области основания латерального отростка таранной кости и в области максимально кверху и кпереди расположенной части переднего отростка пяточной кости (рисунок 3.45 А, Б, желтые точки). Через указанные три точки строится угол тарзального синуса. При разных положениях подтаранного сустава угол меняет свое значение: при эверсии на уровне подтаранного сустава – угол

уменьшается (рисунок 3.45А), при инверзии на уровне подтаранного сустава – угол увеличивается (рисунок 3.45Б).

Для оценки нового рентгенологического критерия проведен корреляционный и регрессионный анализ между углом тарзального синуса и основными клинико-рентгенологическими параметрами. Данные корреляционного и регрессионного анализа приведены в таблице 3.25.

Таблица 3.25 – Данные корреляционного и регрессионного анализа угла тарзального синуса и основных клинико-рентгенологических параметров стоп пациентов с плоскостопием, характеризующие значимые сильные и умеренные связи (n=260)

Клинико-рентгенологические параметры стоп	Коэффициент корреляции Pearson, r	Коэффициент детерминации, R^2	
		лин. модель	квадр. модель
Передне-задний угол Kite	-0,256	0,119	0,120
Передне-задний угол Meary	-0,456	0,269	0,290
Угол латерального смещения ладьевидной кости	-0,477	0,359	0,359
Латеральный угол Meary	-0,473	0,438	0,443
Латеральный угол Kite	-0,485	0,374	0,374
Угол наклона пяточной кости	0,108	0,154	0,164
Таранно-большеберцовый угол	0,475	0,440	0,447
Угол продольного свода рентгенологический	-0,334	0,346	0,347
Таранно-пяточное соотношение	-0,570	0,459	0,463
Угол продольного свода клинический	0,406	0,312	0,312
Подометрический индекс Фридланда	0,383	0,172	0,173
Вальгус заднего отдела стопы	-0,380	0,334	0,334
Тыльное сгибание стопы+пассивное разгибание I пальца	0,382	0,254	0,254

Как можно увидеть в таблице 3.25, близкие к сильным связи были отмечены со следующими параметрами: латеральный угол Kite, угол Meary, угол латерального смещения ладьевидной кости, таранно-большеберцовый угол, таранно-пяточное соотношение. Также данный параметр имел умеренные корреляционные связи со всеми клиническими критериями за исключением изолированного тыльного сгибания стопы. По умеренным корреляционным связям со значением коэффициента детерминации более 0,4, построены графики линейных и квадратичных регрессионных моделей (рисунок 3.46).

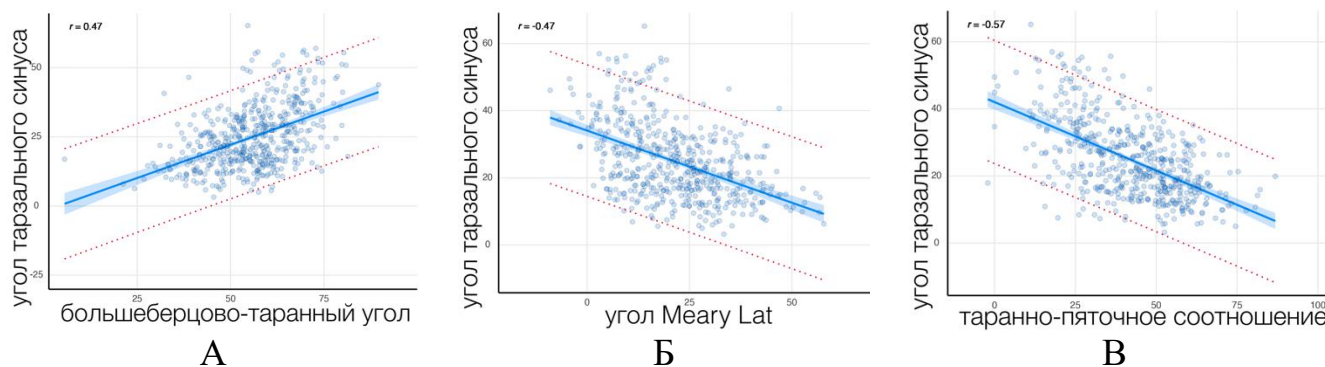


Рисунок 3.46. Графики регрессионных моделей, характеризующие умеренные корреляционные связи с параметром «угол тарзального синуса». А – большеберцово-таранный угол; Б – латеральный угол Meary; В – таранно-пяточное соотношение.

Как можно увидеть на рисунке 3.46, характер связей между указанными параметрами приближался к линейному: увеличение угла тарзального синуса характеризовалось уменьшением деформации стопы, а уменьшение угла тарзального синуса подразумевает увеличение деформации стопы.

Таким образом, разработанные новые рентгенометрические критерии, характеризующие положение подтаранного сустава, имели умеренные и сильные связи как с рентгенологическими, так и с клиническими параметрами стоп у пациентов с плоскостопием, что свидетельствует об их практической ценности как для рентгенологической диагностики, так и для оценки результатов лечения.

3.4.5 Оценка качественных рентгенологических критериев у детей с плоскостопием

У всех пациентов с мобильным и ригидным плоскостопием проводился анализ качественных рентгенологических признаков, которые чаще всего сопровождают тарзальные коалиции. Пациентам с наличием указанных признаков и ограничением мобильности суставов предплюсны выполнялась компьютерная томография для верификации аномалий развития костей предплюсны. С целью оценки диагностической значимости косвенных рентгенологических признаков тарзальных коалиций проведен анализ с расчетом чувствительности с

специфичности каждого признака. Наличие или отсутствие тарзальной коалиции оценивалось с помощью КТ. Данные исследования приведены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Сравнительные данные положительных отрицательных значений косвенных рентгенологических признаков тарзальных коалиций (n=378)

Рентгенологический признак		Тарзальная коалиция присутствует	Тарзальная коалиция отсутствует	Чувствительность	Специфичность
С-симптом	+	89	72	89%	78,05%
	-	11	256		
Симптом «клюва»	+	42	29	42%	91,16%
	-	58	299		
Симптом «нос муравьеда»	+	92	11	92%	95,18%
	-	8	217		

Как можно увидеть в таблице 3.26, максимальной чувствительностью и специфичностью обладал симптом «нос муравьеда». С другой стороны, симптом «клюва» имел самый низкий показатель чувствительности, однако его специфичность превышала этот показатель С-симптома. Выявление симптома «нос муравьеда» на рентгенограммах стоп более чем в 90% случаев свидетельствует о наличии пяточно-ладьевидной коалиции.

Отдельно стоит рассмотреть аномалию развития подтаранного сустава, заключающуюся в наличии добавочной – передне-латеральной фасетки подтаранного сустава. В норме передняя поверхность латерального отростка таранной кости не имеет гиалинового хряща, а суставная поверхность задней фасетки подтаранного сустава заканчивается на уровне верхушки латерального отростка таранной кости. При добавочной передне-латеральной фасетке подтаранного сустава добавочная суставная поверхность располагается на уровне верхушки латерального отростка таранной кости и впереди от него (рисунок 3.47).

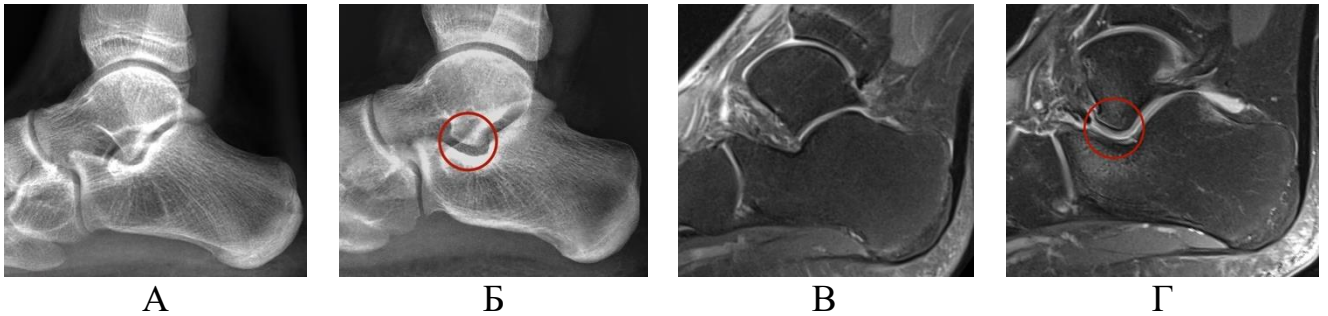


Рисунок 3.47. Особенности анатомии латерального отростка таранной кости. А, В – нормальная анатомия латерального отростка; Б, Г – добавочная передне-латеральная фасетка подтаранного сустава (отмечена красным цветом).

На рисунке 3.47 видно, что в норме задняя фасетка подтаранного сустава не пересекает апекс латерального отростка таранной кости. При формировании добавочной передне-латеральной фасетки подтаранного сустава – суставная поверхность располагается также и под апексом таранной кости изменяя его форму.

Нарушение анатомии подтаранного сустава может приводить к импиджменту между латеральным отростком таранной кости и пяточной костью (рисунок 3.48).

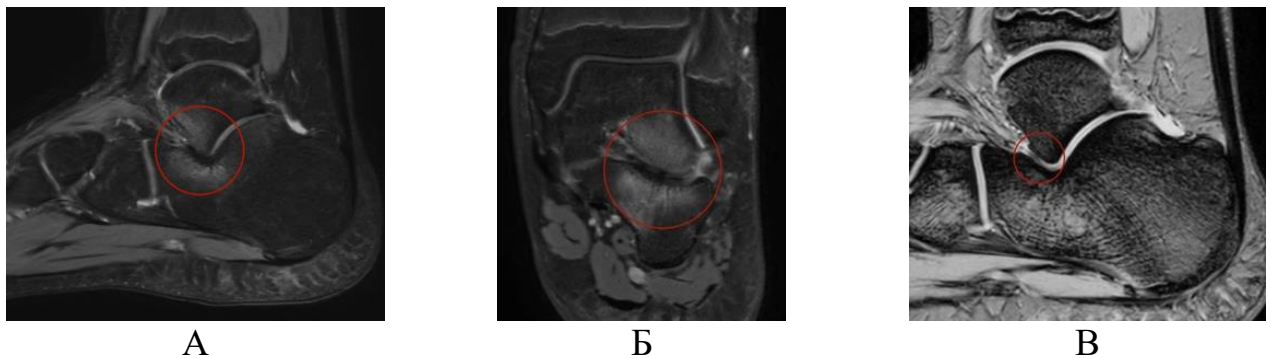


Рисунок 3.48 МР-томограммы при добавочной передне-латеральной фасетке подтаранного сустава и таранно-пяточном импиджменте. А, Б – трабекулярный отек таранной и пяточной кости (отмечено красным цветом) в сагиттальной и коронарной плоскости, В – начальные дегенеративные изменения добавочной фасетки подтаранного сустава (отмечено красным цветом).

Как можно увидеть на рисунке 3.48, при наличии добавочной фасетки подтаранного сустава, изменяется его геометрия, что приводит к явлениям таранно-пяточного импиджмента.

Вследствие расположения плоскости добавочной фасетки подтаранного сустава вне нормальной траектории движений может развиваться ограничение мобильности суставов стопы и вторичные изменения костей предплюсны с болевым синдромом (рисунок 3.49).



Рисунок 3.49. Вторичные изменения сустава Шопара (отмечено красным цветом) у пациента с добавочной передне-латеральной фасеткой подтаранного сустава.

На рисунке 3.49 видно, что добавочная передне-латеральная фасетка подтаранного сустава может приводить к ограничению мобильности в нем и к компенсаторной гипермобильности в суставе Шопара, что на рентгенограммах проявляется симптомом «клюва».

3.5 Естественная динамика клинико-рентгенологических параметров стоп у детей с плоскостопием

Для оценки естественной динамики у детей с плоскостопием проведено динамическое наблюдение пациентов в декретированные сроки: начало наблюдения, в течение 3 лет ежегодно. Пациенты с мобильным плоскостопием, которым не требовалось проведение стационарного лечения, 1 раз в год были обследованы амбулаторно (клинический осмотр, рентгенография стоп). Пациенты с ригидным плоскостопием, которым требовалось проведение хирургического лечения, были обследованы также 1 раз в год (клинический осмотр, рентгенография стоп). Пациенты, которым за время наблюдения было проведено хирургическое лечение, исключались из анализа. При клиническом осмотре пациентов оценивались следующие параметры: подометрический индекс Фридланда, угол продольного свода клинический, величина вальгуса заднего

отдела стопы, а также оценка тыльного сгибания стопы в разных вариантах. При динамическом наблюдении оценивались также и основные рентгенометрические критерии. Графики динамики клинических и рентгенометрических величин приведены на рисунке 3.50. Учитывая близкие значения исследуемых параметров, для облегчения анализа графиков медиан исследуемых параметров был выбран степенной тип шкал: для графиков клинических параметров – степень – 0,1; для графиков рентгенометрических критериев – степень 0,5.

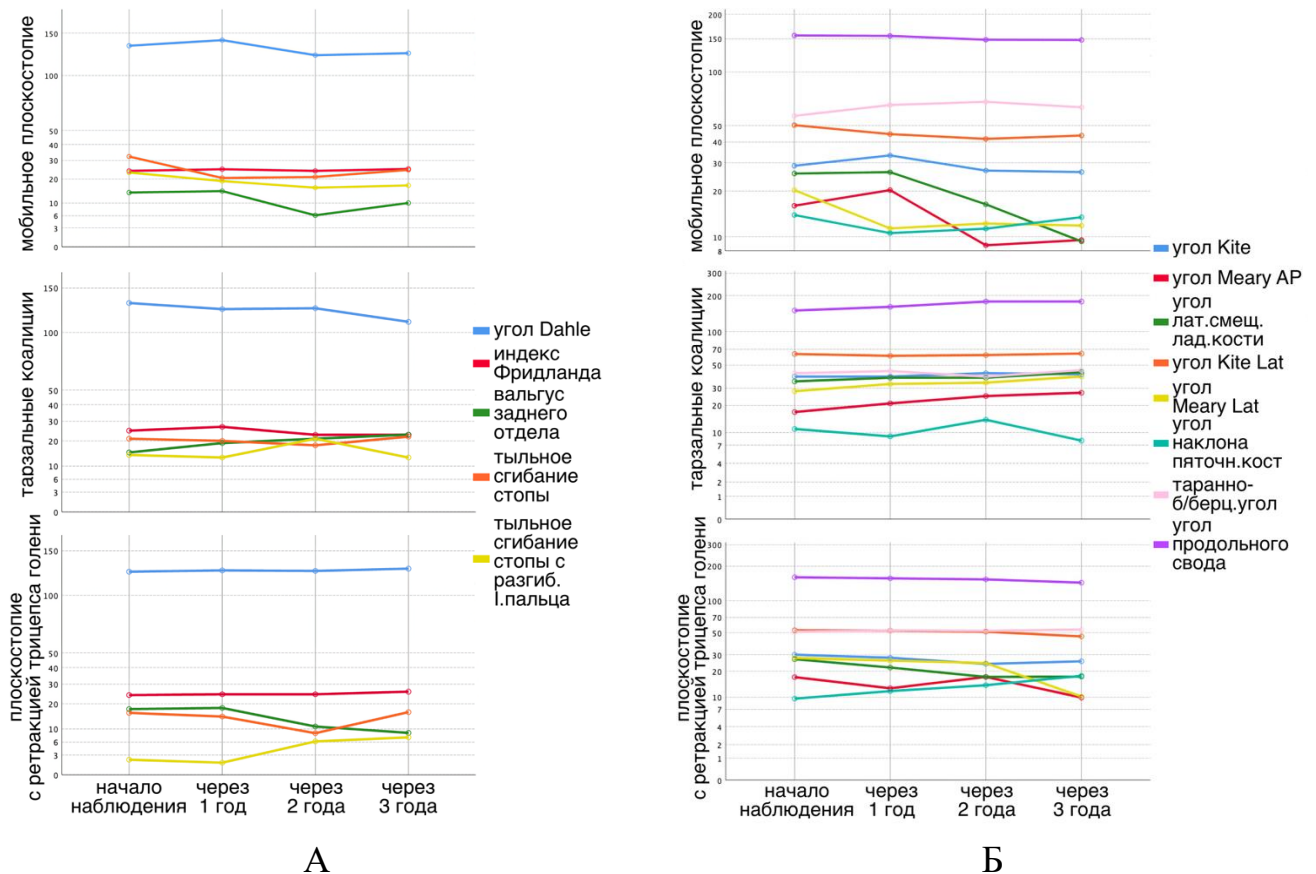


Рисунок 3.50. Изменения основных клинических параметров стоп у пациентов с плоскостопием при динамическом наблюдении. А – пациенты с мобильным плоскостопием (n=36); Б – пациенты с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени (n=49); В – пациенты с тарзальными коалициями (n=42).

Как можно увидеть на рисунке 3.50, у пациентов с тарзальными коалициями отмечалось ухудшение по большинству исследуемых параметров. Многие из этих изменений не имели статистической значимости. Однако, было отмечено значимое уменьшение клинического угла свода, что свидетельствовало об

увеличении деформации стопы ($p < 0,05$; Т-критерий Wilcoxon). Также значительно ухудшились за время наблюдения следующие параметры: угол продольного свода рентгенологический, передне-задний и латеральный угол Meary ($p < 0,05$; Т-критерий Wilcoxon). При этом у пациентов с таранно-пяточными коалициями отсутствовали значимые различия по передне-заднему и латеральному углу Kite. Эта особенность может быть связана с существенным ограничением мобильности подтаранного сустава в связи с наличием конкресценции. У таких пациентов отмечалось прогрессирование деформаций стоп за счет параметров, не затрагивающих положение подтаранного сустава (угол продольного свода рентгенологический, передне-задний и латеральный угол Meary, угол латерального смещения ладьевидной кости). С другой стороны, большинство исследуемых критериев в группах пациентов с мобильным плоскостопием и с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени имели разнонаправленные тренды при динамическом наблюдении. Так, тыльное сгибание стопы у пациентов с мобильным плоскостопием, как и плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени вначале имело тенденцию к снижению, а через два года наблюдения – к повышению. Тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца стопы имело зеркальную тенденцию по сравнению с изолированным тыльным сгибанием стопы при наблюдении. Также разнонаправленную динамику показали латеральный и передне-задний угол Meary. У пациентов с мобильным плоскостопием отмечалось уменьшение деформаций стоп по большинству рентгенометрических критериев. При этом, статистически значимые различия при сравнении в начале и конце наблюдения отмечались по следующим параметрам: таранно-большеберцовый угол, угол латерального смещения ладьевидной кости, передне-задний и латеральный угол Meary ($p < 0,05$; Т-критерий Wilcoxon). С другой стороны, у пациентов с ригидным плоскостопием (плоскостопие с ретракцией трехглавой мышцы голени, тарзальные коалиции) не отмечалось самопроизвольной коррекции деформаций стоп с течением времени по большинству параметров. Так, у пациентов, имеющих плоскостопие в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени, отмечалось

значимое ухудшение по следующим параметрам: угол латерального смещения ладьевидной кости, латеральный угол Meary, латеральный угол Kite ($p < 0,05$; Т-критерий Wilcoxon). Таким образом, при динамическом наблюдении за пациентами с плоскостопием отмечено, что у детей с мобильным плоскостопием по большинству исследуемых параметров отмечается уменьшение деформаций стоп по мере роста. Напротив, у пациентов с ригидным плоскостопием отмечалось прогрессирование деформаций стоп при динамическом наблюдении. При этом, у пациентов с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени отмечалось увеличение деформаций стоп практически по всем критериям, а у пациентов с тарзальными коалициями (таранно-пяточными коалициями) отмечалось прогрессирование деформация стоп по всем параметрам за исключением деформаций на уровне подтаранного сустава.

Данные по разнонаправленным трендам по некоторым исследуемым параметрам в большей степени в группе пациентов с мобильным плоскостопием и в меньшей степени в группе пациентов с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени позволяют предположить, что эти группы не являются однородными. Эта особенность может быть объяснена наличием в этих группах как функционально ригидного, так и функционально мобильного плоскостопия.

3.6 Кластерный анализ анатомо-функциональных параметров плоскостопия

Для оценки значимости основных клинических критериев был проведен кластерный анализ, в который были включены основные клинические параметры плоскостопия. Пациенты с тарзальными коалициями не были включены в кластеризацию, поскольку они представляют собой обособленную группу. Был проведен анализ пациентов с нормальной мобильностью подтаранного сустава, то есть с мобильным плоскостопием. При анализе статистики Гар и дендрограммы при выполнении иерархической кластеризации было определено, что оптимальное количество кластеров равно двум (рисунок 3.51).

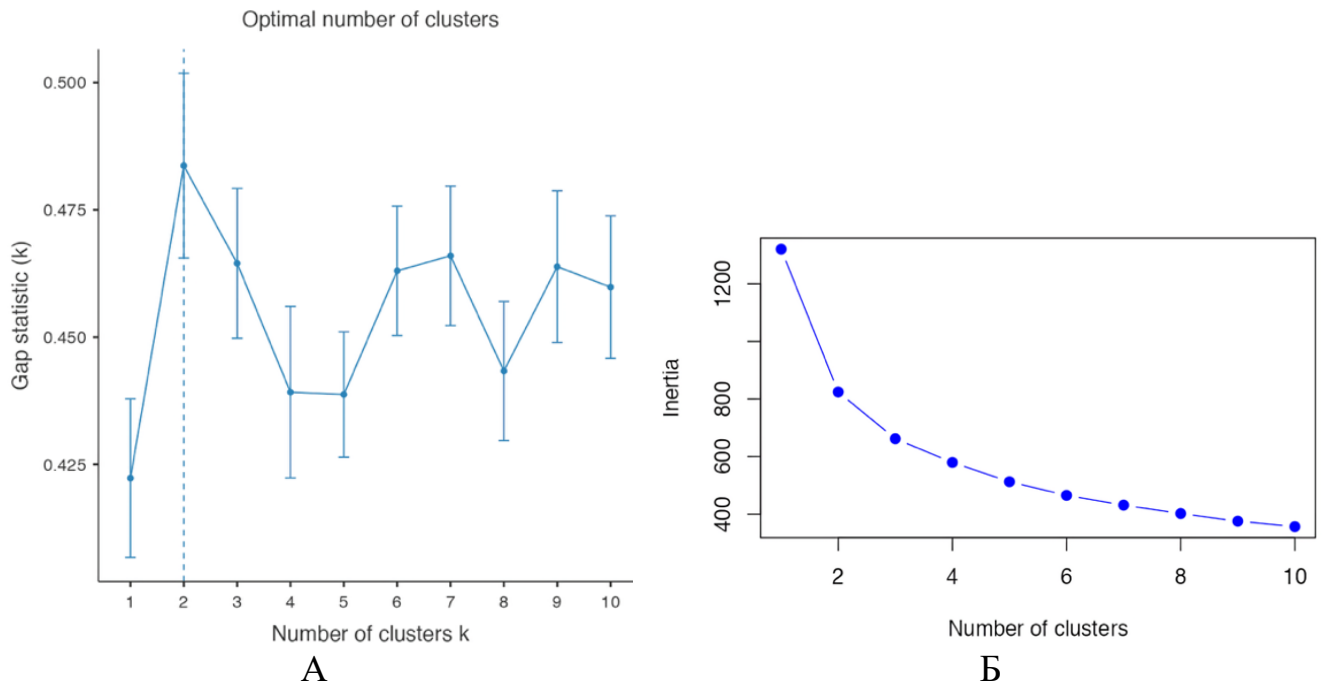


Рисунок 3.51. Графики, обосновывающие разделение клинических параметров на 2 кластера. А – график Gap Statistic; Б – график Inertia (метод «локтя»).

Как можно увидеть на рисунке 3.51А, пик статистики Gap наблюдается при $k=2$. На рисунке 3.51Б отмечается «точка локтя» на уровне 2 кластеров. Графики, отражающие кластеризацию, приведены на рисунке 3.52.

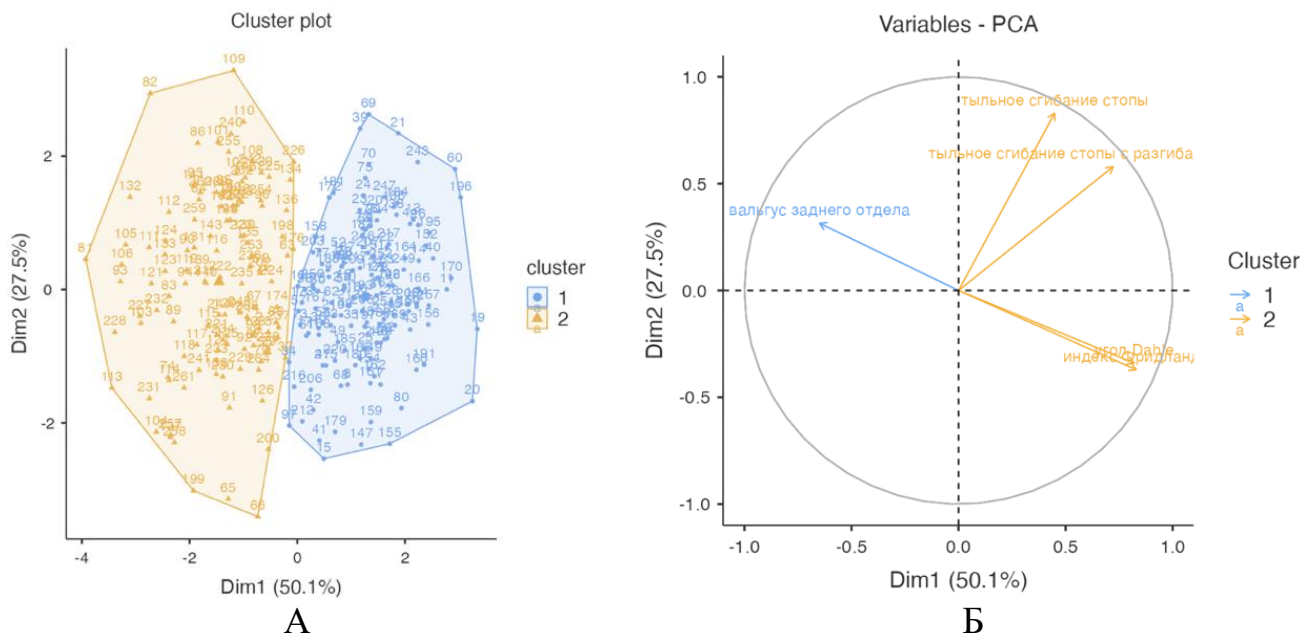


Рисунок 3.52. Графики, отражающие разделение полученных клинических параметров на три кластера. А - график разброса значений с выделенными кластерами (k-means); Б – график главных компонент (PCA).

На рисунке 3.52А видно, что имеется четкое разделение групп данных на 2 кластера без перекрытия. График PCA (рисунок 3.52Б) показывает, что первая главная компонента объясняет 50,1% дисперсии, вторая главная компонента – 27,5%, итого – 77,6% дисперсии. График отражает влияние на первую главную компоненту (dim1) вальгуса заднего отдела стопы и уплощения свода стопы. При проведении иерархической кластеризации по методу Ward.D2, оценка расстояний – метод Euclidean, также были выделены два кластера.

Данные, характеризующие значимые различия по параметрам между выделенными кластерами методом иерархической кластеризации приведены в таблице 3.27.

Таблица 3.27 – Значимые различия по анатомо-функциональным параметрам между выделенными кластерами (n=265)

Анатомо-функциональные параметры	Statistic	df	p
угол Meary Lat	4,466	9,50	0,001
угол наклона пяточной кости	-2,617	8,72	0,029
таранно-пяточное соотношение	3,606	8,43	0,006
угол продольного свода	4,282	8,52	0,002
угол Dahle	-42,282	197,50	<0,001
вальгус заднего отдела	12,586	254,68	<0,001
тыльное сгибание стопы	-3,150	239,75	0,002
тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца	-12,555	218,18	<0,001
длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы/	2,080	62,91	0,042
индекс Фридланда	-44,702	261,99	<0,001
толщина медиальной головки икроножной мышцы	3,148	6,98	0,016
соотношение толщины икроножной мышцы к камбаловидной мышце	-2,652	7,83	0,030
М-ответ икроножной мышцы при стоянии на цыпочках	4,292	52,68	<0,001
OxAFQ-C Physical total	-2,183	10,56	0,036
OxAFQ-C Emotional total	-2,357	12,53	0,035

Как можно увидеть в таблице 3.27, при проведении теста Brunner-Munzel с использованием всех имеющихся параметров для определения различий между выделенными кластерами, значимые различия были получены по ряду как клинических, так и рентгенологических, ультразвукографических и электрофизиологических параметров, в том числе и результатов анкетирования. Самые существенные различия получены по клиническим параметрам, поскольку на их основе осуществлялась кластеризация. Также были отмечены различия по толщине медиальной головки икроножной мышцы и М-ответу икроножной

мышцы при стоянии на цыпочках, что косвенно может свидетельствовать о функциональных различиях. Помимо этого, имелись различия в общей оценке по разделам «Физическое состояние» и «Эмоции» Оксфордского опросника. Стоит отметить, что указанное разделение группы пациентов с мобильным плоскостопием (нормальной мобильностью подтаранного сустава) не может быть объяснено только наличием или отсутствием ретракции трехглавой мышцы голени, поскольку в обоих кластерах были пациенты с ретракцией трехглавой мышцы голени, однако, разделение на основании положения заднего отдела стопы перед переносом было более четким (рисунок 3.53).

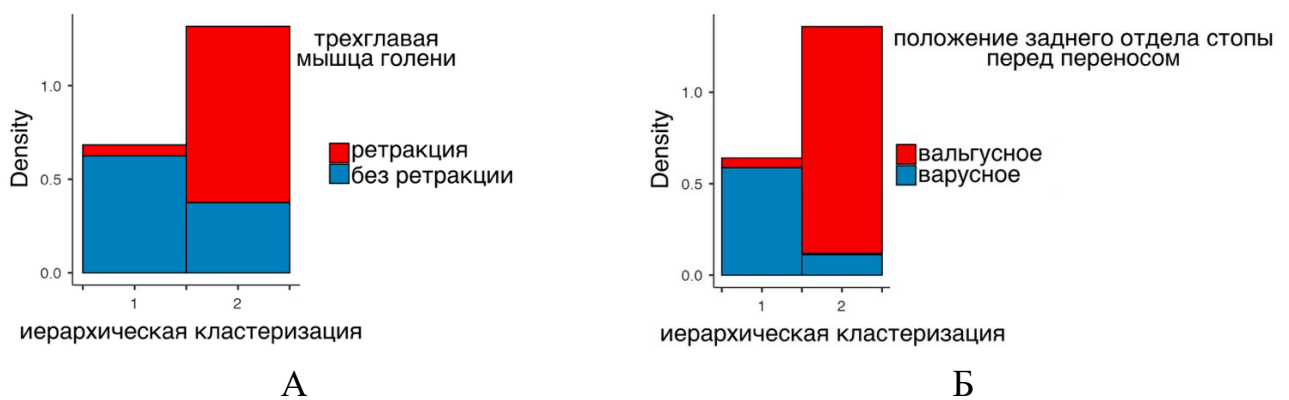


Рисунок 3.53. Графики распределения пациентов между двумя выделенными кластерами в зависимости от ретракции трехглавой мышцы голени (А) и положения заднего отдела стопы перед переносом (Б).

Как можно увидеть на рисунке 3.53 Б, большая часть пациентов из кластера 2 имела вальгусное положение заднего отдела стопы во время осуществления пропульсии. С другой стороны, большая часть пациентов в кластере 1 не имела ретракции трехглавой мышцы голени, но 28,3% пациентов из кластера 2 не имели ретракции трехглавой мышцы голени.

Таким образом, на основании изучения имеющихся и разработки новых клинических тестов, позволяющих определить мобильность суставов предплюсны, величину ретракции трехглавой мышцы голени, а также функциональное состояние стопы, которое обусловлено возможностью блокирования суставов предплюсны при осуществлении пропульсии было проведено выделение трех форм плоскостопия. По данным литературы, наиболее

часто в клинической практике используется классификация плоскостопия, основанная на определении мобильности суставов предплюсны, которая позволяет разделить плоскостопие на мобильные и ригидные формы. Математическое моделирование, проведенное на основании анализа полученных анатомо-функциональных данных пациентов с плоскостопием, обосновывает разделение всех пациентов с мобильным плоскостопием на две обособленные группы. Это не соответствует основной концепции разделения плоскостопия на две группы – мобильное и ригидное плоскостопие, поскольку, как показало исследование, группа мобильного плоскостопия имеет две подгруппы. При этом, исходя из наличия значимых различий как в анатомических, так и в функциональных параметрах, основные отличительные особенности выделенных кластеров в группе мобильного плоскостопия характеризуют функциональное состояние стопы (толщина медиальной головки икроножной мышцы, М-ответ икроножной мышцы при стоянии на цыпочках, а также раздел «Физическое состояние» OхAFQ-C). Кроме того, при разделении пациентов по полученным кластерам исходя из биомеханических особенностей походки – положения заднего отдела стопы перед осуществлением пропульсии, 92% пациентов из кластера 2 имели вальгусное положение заднего отдела перед переносом.

Полученные данные подтверждают обоснованность выделения трех групп пациентов с плоскостопием, которые легли в основу разработанной нами классификации, основанной на оценке функции стопы.

Классификация плоскостопия у детей

1. Мобильное плоскостопие, которое характеризуется нормальной мобильностью суставов предплюсны.
2. Анатомически ригидное плоскостопие, которое характеризуется ограничением мобильности суставов предплюсны в связи с нарушением анатомии стопы (тарзальные коалиции, добавочные фасетки подтаранного сустава).
3. Функционально ригидное плоскостопие характеризуется отсутствием возможности стабилизации суставов предплюсны в одноопорную фазу шага и снижением эффективности пропульсии. Эта группа состоит из пациентов с

плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени и пациентов с мобильным плоскостопием.

3.7 Заключение

Исходя из проанализированных данных, диагностика ригидного плоскостопия заключается в выявлении анатомических и функциональных факторов ригидности стопы. Для выявления анатомических факторов необходима визуализация нарушений анатомии, обуславливающих ограничения мобильности суставов предплюсны. Показанием для проведения рентгенологических исследований является клиническое определение ригидности суставов предплюсны. По полученным данным, наиболее важными в клинической практике тестами, определяющими показания для последующего рентгенологического обследования, являются: тест «вставания на цыпочки», оценка пассивной инверзии и эверзии стопы, определение пяточно-ладьевидной мобильности. Схема клинической диагностики плоскостопия у детей приведена на рисунке 3.54.

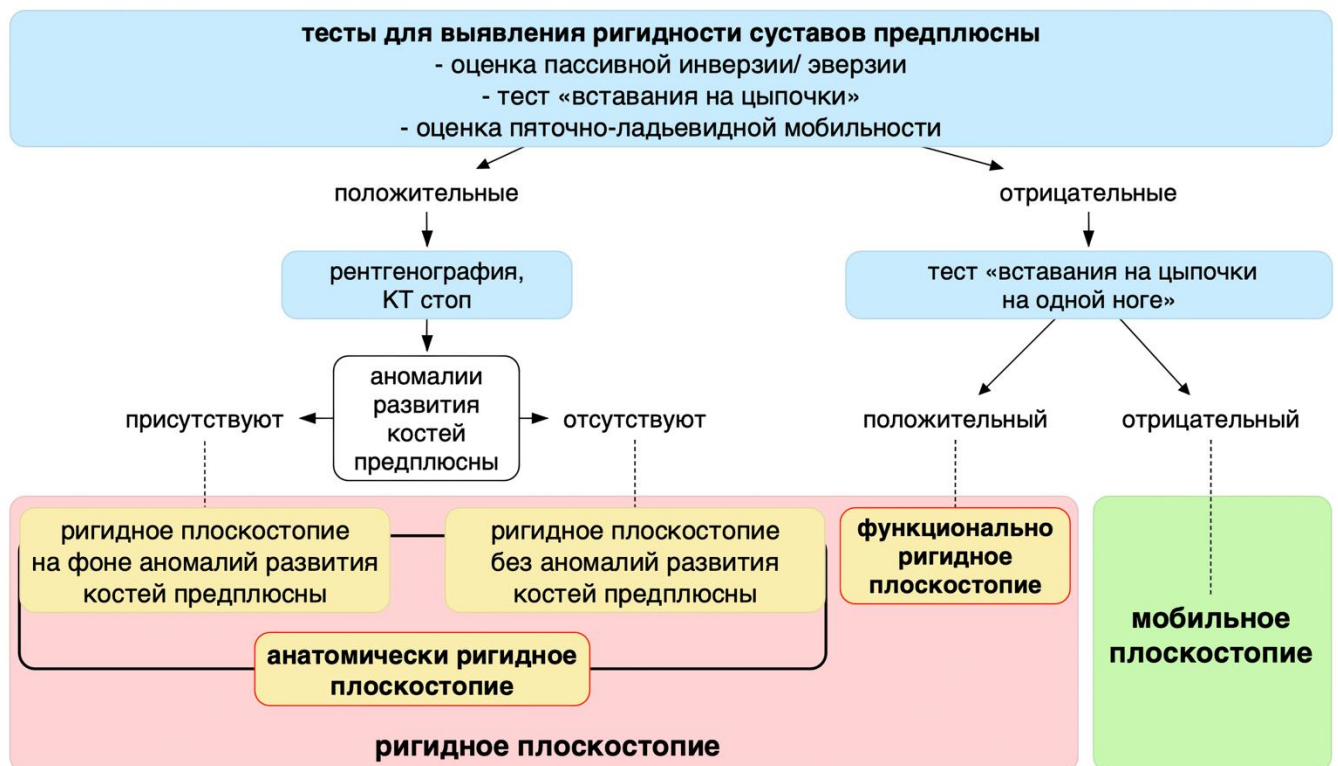


Рисунок 3.54. Схема диагностики плоскостопия у детей.

На рисунке 3.54 показано, что при выявлении анатомических причин ограничения мобильности суставов предплюсны (тарзальные коалиции, добавочная фасетка подтаранного сустава, добавочные кости), данную форму плоскостопия можно отнести к анатомически ригидному плоскостопию. В случае нормальной мобильности суставов предплюсны необходима оценка функционального статуса стопы. По полученным данным высокую корреляционную связь с биомеханическими показателями походки, а также диагностическую значимость имеет новый тест «вставания на цыпочки на одной ноге». Таким образом, при отрицательных известных тестах мобильности суставов предплюсны и положительном новом тесте «вставания на цыпочки на одной ноге», данная форма плоскостопия относится к функционально ригидному плоскостопию.

ХИРУРГИЧЕСКИЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВА, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УВЕЛИЧЕНИЕ МОБИЛЬНОСТИ СУСТАВОВ ПРЕДПЛЮСНЫ У ПАЦИЕНТОВ С РИГИДНЫМ ПЛОСКОСТОПИЕМ

4.1 Устранение причин анатомической ригидности суставов предплюсны

В рамках настоящего исследования под увеличением мобильности суставов предплюсны подразумевалось выполнение хирургических вмешательств, направленных на устранение анатомических причин, обуславливающих ограничения мобильности. При наличии анатомических причин ригидности суставов предплюсны (тарзальные коалиции, добавочные фасетки подтаранного сустава) выполнялись резекционные вмешательства. При ограничении подвижности, связанном с ретракцией сухожильно-мышечных комплексов, производились вмешательства по их удлинению.

4.1.1 Анатомические особенности при резекции пяточно-ладьевидных коалиций

В литературе отсутствуют сведения об определении уровня остеотомии при резекции пяточно-ладьевидных коалиций. В связи с этим была нами был разработан способ резекции пяточно-ладьевидных коалиций.

При выборе уровня остеотомии пяточной кости при резекции пяточно-ладьевидных коалиций было предположено, что анатомические особенности данной зоны обуславливают риск повреждения медиальной фасетки подтаранного сустава (*sustentaculum tali*), поскольку она находится в непосредственной близости к плантарной части коалиции (рисунок 4.1).

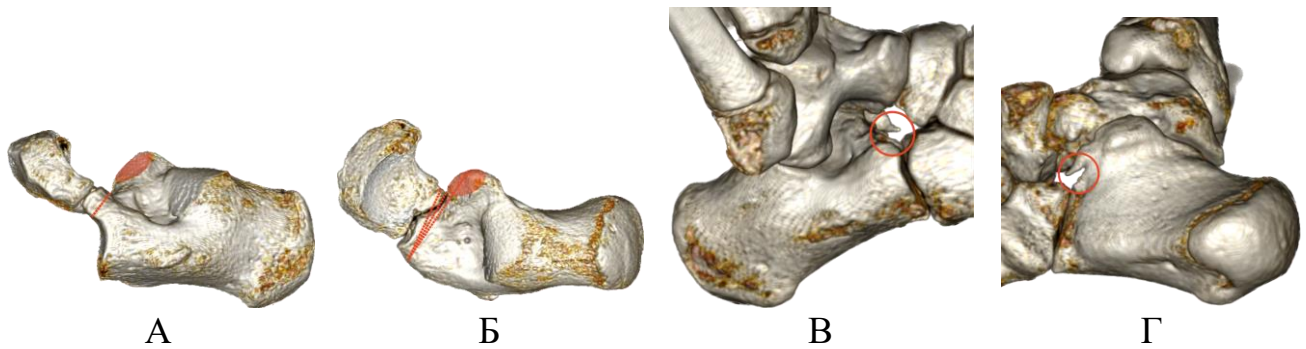


Рисунок 4.1. Схема различных вариантов сечения пяточной кости при резекции пяточно-ладьевидной коалиции. 3D реконструкция пяточно-ладьевидной коалиции. А – вид с латеральной стороны; Б – вид сверху; В, Г – повреждение sustentaculum tali при неверном выборе плоскости сечения пяточной кости (отмечено красным кругом).

На рисунке 4.1Б показано, как небольшие различия при выборе угла сечения пяточной кости (красные пунктирные линии) могут привести к повреждению медиальной фасетки подтаранного сустава и sustentaculum tali - выделен красным цветом (рисунок 4.1В, Г). Повреждение медиальной фасетки подтаранного сустава при резекции коалиции может привести к дегенеративным изменениям в подтаранном суставе, а также затруднит извлечение резецированной коалиции. Пяточная и таранная кости спереди от медиальной фасетки образуют пазуху, выявление данной анатомической области поможет определить уровень остеотомии пяточной кости и избежать повреждения медиальной фасетки подтаранного сустава (рисунок 4.2).

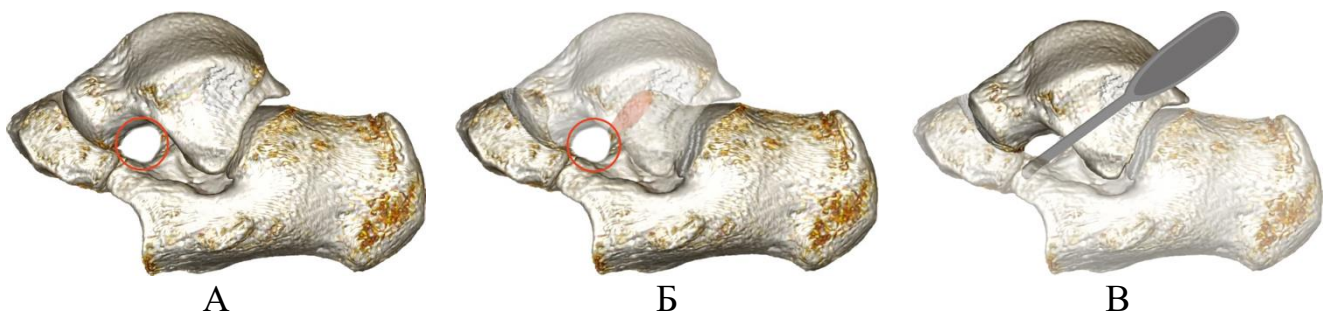


Рисунок 4.2. Схема расположения пазухи в области шейки таранной кости. А – пазуха отмечена красным кругом; Б – sustentaculum tali выделен красным цветом; В – схема введения костного элеватора для идентификации пазухи и определения уровня остеотомии пяточной кости.

На рисунке 4.2 видно, что пазуха образована шейкой таранной кости, передним отростком пяточной кости и передним краем sustentaculum tali. Пример использования указанного способа определения уровня остеотомии пяточной кости представлен на рисунке 4.3.

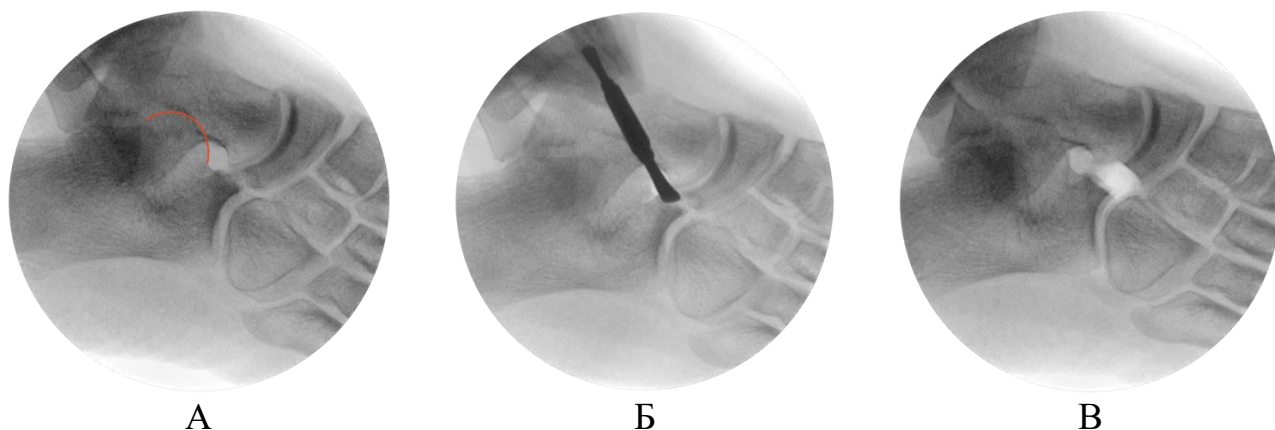


Рисунок 4.3. Пример определения уровня остеотомии пяточной кости при резекции пяточно-ладьевидной коалиции. А – рентгенография Slomann с визуализацией пазухи в области шейки таранной кости (контуры sustentaculum tali отмечены красным цветом); Б – введение элеватора в пазуху для определения локализации sustentaculum tali и уровня остеотомии пяточной кости; В – рентгенография после резекции коалиции – визуализируется пазуха, контуры sustentaculum tali без признаков повреждения.

На рисунке 4.3 видно, что идентификация пазухи в области шейки таранной кости позволяет определить уровень sustentaculum tali, так как выполнение остеотомии дистальнее элеватора имеет высокий риск повреждения медиальной фасетки, причем идентификация пазухи производится без выполнения рентгенографии (представленные рентгенограммы выполнялись для демонстрации метода).

При выполнении резекции пяточно-ладьевидных коалиций – расстояние между резецированными поверхностями должно быть достаточным для предотвращения рецидива. В связи с этим необходимо выполнение параллельного сечения костей при резекции коалиции, что позволяет избежать близкого расположения между резецированными костями и снизить вероятность повторного сращения (рисунок 4.4).

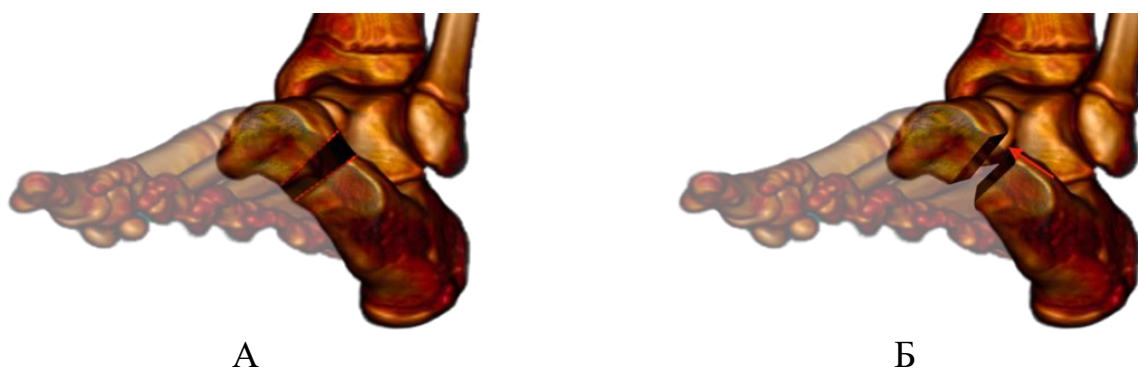


Рисунок 4.4. Схема резекции пяточно-ладьевидной коалиции с параллельным расположением сечений костей. А – красными пунктирными линиями отмечены сечения костей при выполнении резекции; Б – вид после резекции коалиции.

Как можно отметить из рисунка 4.4, при параллельной ориентации сечения пяточной и ладьевидной кости сохраняется одинаковое расстояние между резецированными костями. Однако, в ряде случаев, в связи с анатомическими особенностями, плоскости сечения пяточной и ладьевидной кости приходится располагать под углом друг к другу. Это связано с особенностями расположения головки таранной кости и sustentaculum tali. При близком расположении сечения ладьевидной кости к головке таранной кости приходится располагать плоскость сечения под углом таким образом, что она проходит по касательной к головке таранной кости. В противном случае возникает риск повреждения суставной поверхности головки таранной кости (рисунок 4.5).

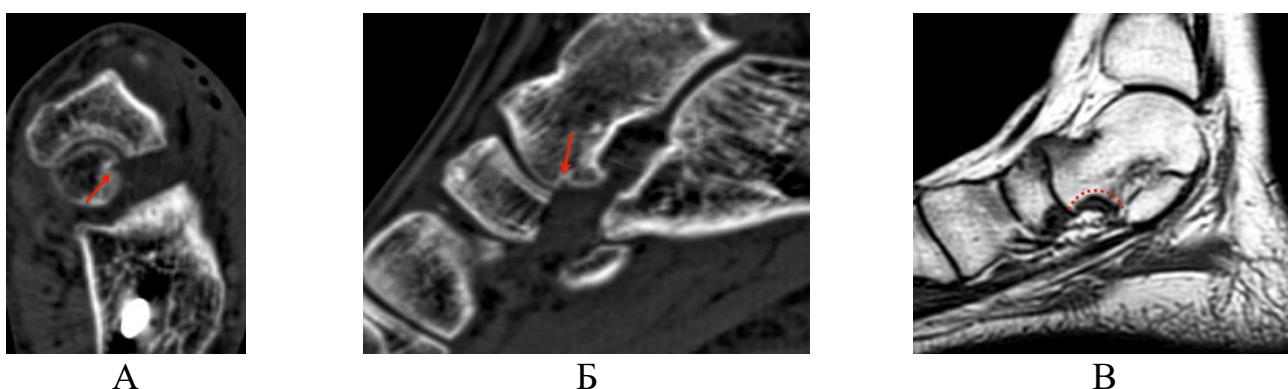


Рисунок 4.5. Примеры повреждения головки таранной кости при расположении плоскости сечения ладьевидной кости вблизи головки таранной кости. А, Б – КТ при повреждении головки таранной кости пилой (стрелки красного цвета); В – МРТ при секторальном повреждении нижней части головки таранной кости (отмечено пунктирной линией красного цвета).

Анализируя рисунок 4.5А, Б, следует отметить, что линейные повреждения головки таранной кости при резекции коалиции чаще всего были асимптоматическими и не требовали отдельных вмешательств. С другой стороны, при секторальном повреждении головки таранной кости (рисунок 4.5В) в одном из 4 случаев развился стойкий болевой синдром с перонеальным спазмом, потребовавший повторного хирургического вмешательства.

Во избежание повреждения этих анатомических структур, плоскости сечения приходится менять. В таких ситуациях отмечается снижение расстояния между резецированными костями в плантарной части коалиции, что обуславливает высокий риск рецидива – частичное сращение резецированных костей в плантарной части и ограничение мобильности суставов предплюсны (рисунок 4.6).

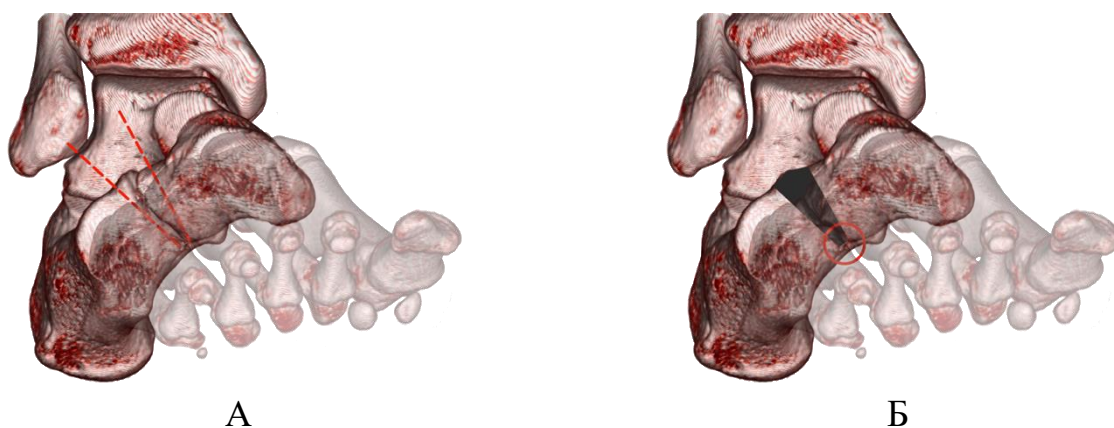


Рисунок 4.6. Схема сечения костей при резекции коалиции, при котором в плантарной части отмечается снижение расстояния между резецированными костями (указано красным кругом). А – расположение направлений сечения пяточной и ладьевидной кости; Б – вид после резекции коалиции.

Как можно увидеть на рисунке 4.6, при конвергентном расположении плоскостей сечения возникает неполная резекция или снижается расстояние между резецированными костями в плантарной части. Для предотвращения рецидива коалиции, был разработан способ резекции пяточно-ладьевидных коалиций (патент РФ на изобретение «Способ резекции пяточно-ладьевидных коалиций» №2827853, 02.10.2024) увеличения расстояния между плантарными частями резецированных костей (рисунок 4.7).

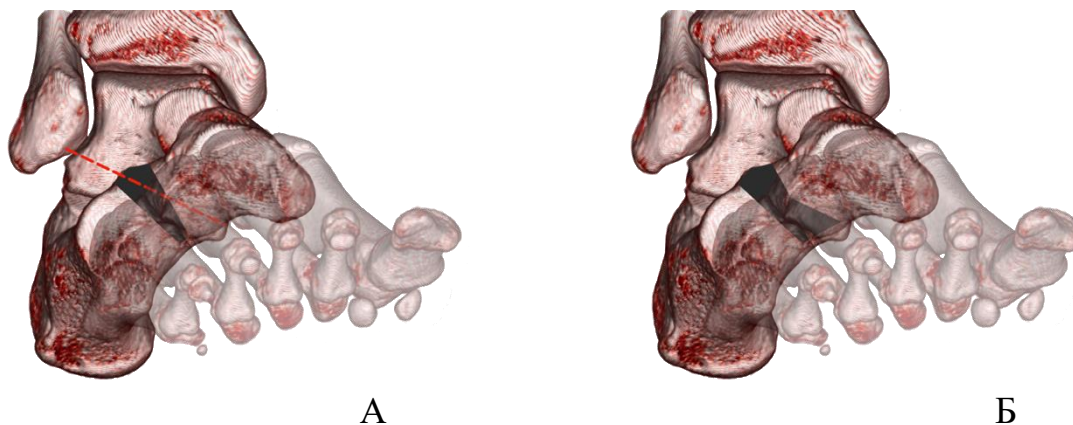


Рисунок 4.7. Схема сечения ладьевидной кости для увеличения расстояния между костными фрагментами в плантарной части. А – направление сечения ладьевидной кости; Б – вид после резекции.

Схема выполнения остеотомий при резекции пяточно-ладьевидной коалиции представлена на рисунке 4.8.

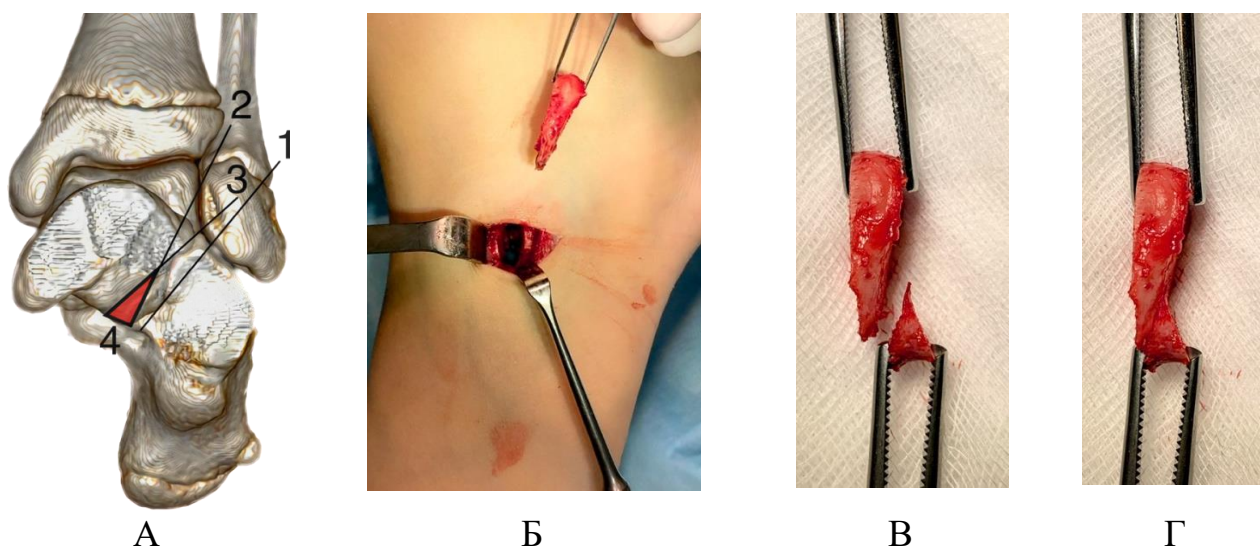


Рисунок 4.8. Выполнение резекции пяточно-ладьевидной коалиции предложенным способом. А – схема очередности остеотомий при резекции пяточно-ладьевидной коалиции; Б – вид отдельных костных фрагментов после резекции коалиции; В, Г – вид сопоставленных костных фрагментов после резекции коалиции.

На рисунке 4.8А показано, что в первую очередь выполняется остеотомия переднего отростка пяточной кости, затем производится остеотомия ладьевидной кости. При конвергентном расположении плоскостей сечения получается фрагмент треугольной формы (рисунок 4.8Б). В связи с этим выполняется

повторная остеотомия на уровне середины резецированной части ладьевидной кости, при этом производится наклон остеотома до упора в передний отросток пяточной кости. В результате этого формируется свободный костный фрагмент треугольной формы с основанием, обращенным в подошвенную сторону. При корректно выполненной резекции удастся получить два фрагмента треугольной формы (рисунок 4.8В). В результате при сопоставлении удаленных фрагментов удастся извлечь костный блок с практически параллельными плоскостями сечения (рисунок 4.8Г). Стоит отметить, что удаление свободного костного фрагмента может сопровождаться определенными техническими трудностями, что требует его аккуратной и адекватной мобилизации. Таким образом, использование указанного способа позволяет увеличить расстояние между резецированными костями в плантарной части и снизить вероятность рецидива коалиции. Пример использования разных способов резекции приведен на рисунке 4.9.

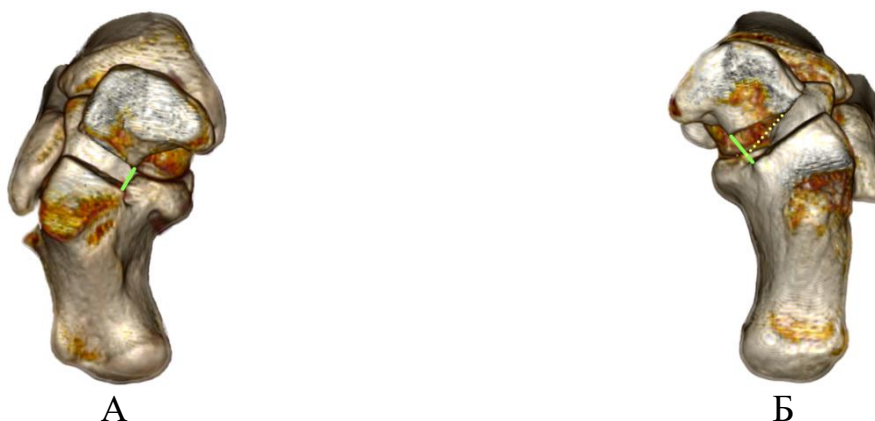


Рисунок 4.9. Пример использования разных способов резекции пяточно-ладьевидной коалиции. А – параллельные плоскости сечения; Б – новый способ резекции. Линией зеленого цвета указано расстояние между резецированными костями в плантарной части. Пунктирной линией желтого цвета указано как проходила плоскость первого сечения ладьевидной кости.

На рисунке 4.9 показана 3D КТ визуализация после сегментации переднего отдела, клиновидных и кубовидной костей, отмечается расширение расстояния между ладьевидной и пяточной костью в плантарной части при использовании нового способа резекции пяточно-ладьевидной коалиции. Этот способ резекции

можно использовать, если выполнение параллельного сечения технически затруднительно. При близком расположении коалиции и таранно-ладьевидного сустава параллельное сечение ладьевидной кости может привести к повреждению или отсечению латеральной части головки таранной кости. В таком случае первое сечение ладьевидной кости выполняется по тыльно-латеральному краю головки таранной кости, а второе сечение - по плантарно-латеральному краю, таким образом снижается вероятность повреждения головки таранной кости, а сечение ладьевидной кости повторяет конуры головки таранной кости (рисунок 4.10).

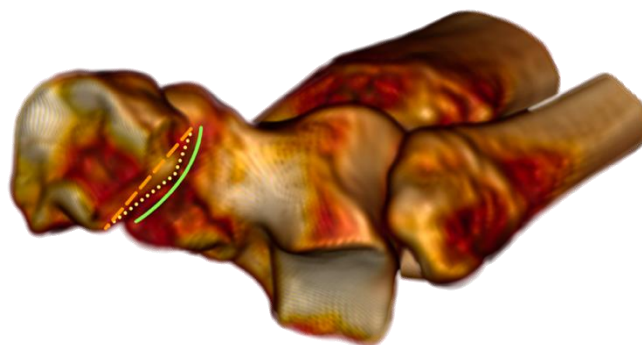


Рисунок 4.10. Схема сечения ладьевидной кости по отношению к латеральному контуру головки таранной кости. Линией зеленого цвета отмечена граница латерального края головки таранной кости. Пунктирной линией желтого цвета отмечено фигурное сечение ладьевидной кости. Пунктирной линией оранжевого цвета указано предполагаемое сечение ладьевидной кости при параллельной ориентации плоскостей остеотомии.

На рисунке 4.10 показано, что при сечении ладьевидной кости предложенным способом (пунктирная линия желтого цвета) ее латеральный край повторяет края головки таранной кости (сплошная линия зеленого цвета). При прямой ориентации плоскости остеотомии ладьевидной кости (пунктирная линия оранжевого цвета), возрастает риск повреждения латерального края головки таранной кости. При использовании нового способа резекции пяточно-ладьевидных коалиций не было отмечено секторальных повреждений головки таранной кости, количество линейных повреждений снизилось по сравнению с группой пациентов с параллельным сечением зоны коалиции – 3 линейных повреждения из 27 случаев резекции новым способом; 9 линейных повреждений

из 34 при резекции с параллельным сечением (тест Kruskal — Wallis; $\chi^2=28,1$; $p<0,001$).

Для оценки зоны резекции пяточно-ладьевидной коалиции проведено исследование, заключающееся в измерении расстояния между краями ладьевидной и пяточной костей на КТ при выведении плоскости сканирования на 3D MPR параллельно продольной оси пяточной кости в горизонтальной и сагиттальной плоскостях. Схема расчета приведена на рисунке 4.11.

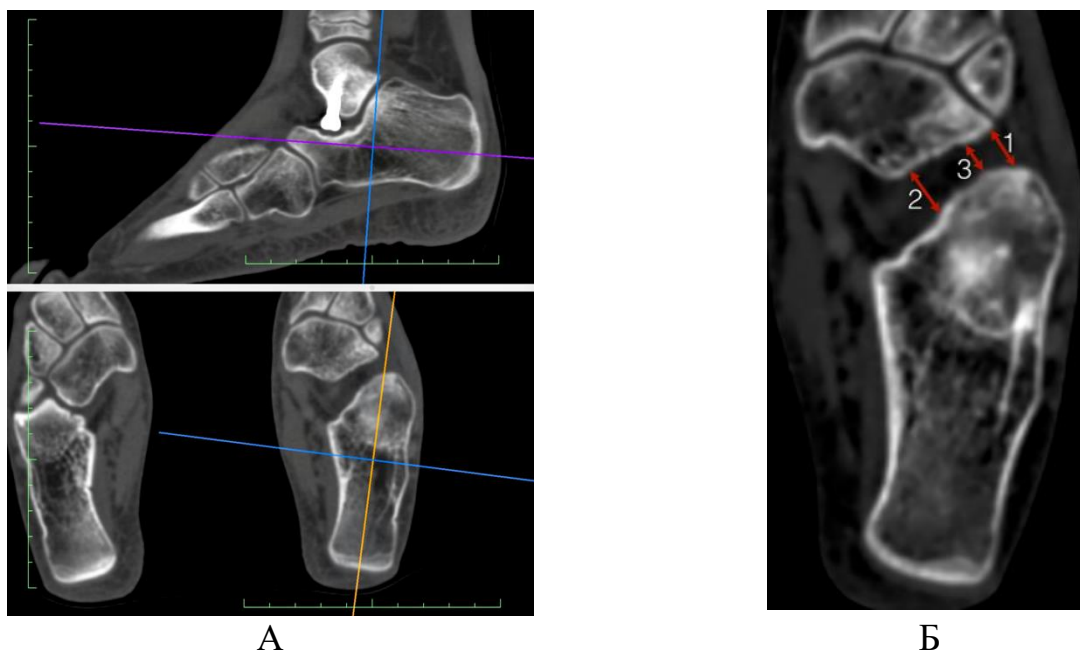


Рисунок 4.11. Схема оценки зоны резекции пяточно-ладьевидных коалиций. А – выведение плоскости сканирования на 3D MPR. Б – схема расчета расстояния между резецированными костями.

Как можно увидеть на рисунке 4.11, для стандартизации измерений было выполнено сканирование в одной плоскости. Это достигалось при выведении плоскости сканирования параллельно продольной оси пяточной кости на горизонтальных и сагиттальных срезах 3D MPR. Оценка расстояния между резецированными костями проводилась в трех областях: в тыльной части (расстояние 1), в плантарной части (расстояние 2) и в области минимального расстояния (расстояние 3). Измерения проводились после выполнения КТ на сроках после резекции коалиций от 1 до 3 лет ($n=28$). Данные измерений приведены на рисунке 4.12.

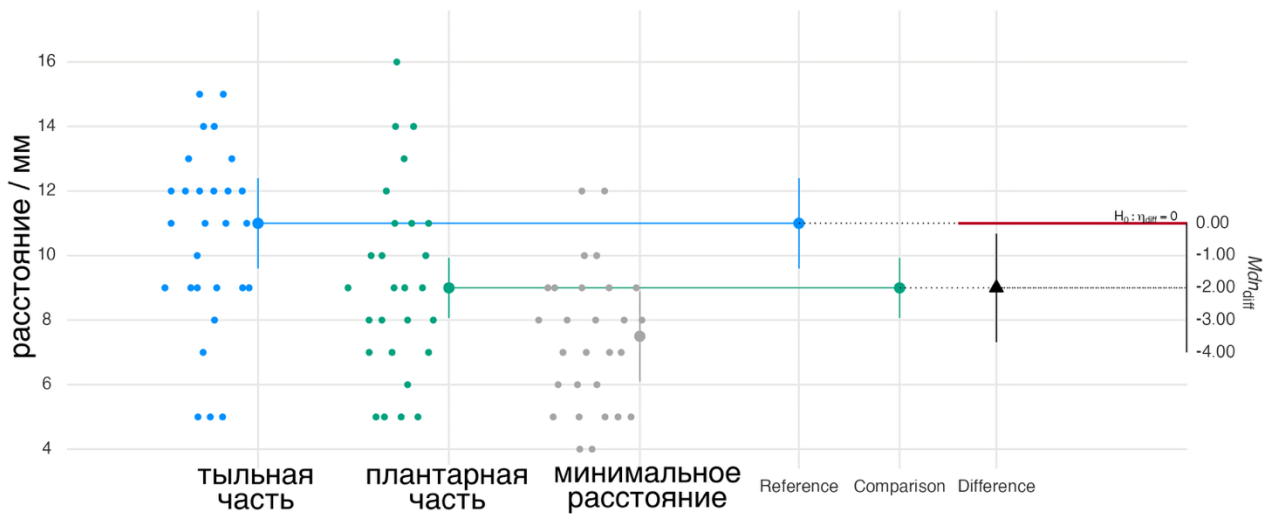


Рисунок 4.12. График измерения расстояния между пяточной и ладьевидной костью после резекции пяточно-ладьевидной коалиции (n=28).

На рисунке 4.12 представлен график измерения расстояния между резецированными костями, которые имели различия в разных областях измерений (тест Kruskal — Wallis; $\chi^2=16,3$; $p<0,001$). Различия между тыльной и плантарной частью в среднем составили лишь 2 мм и не были статистически значимыми. Различия между тыльной частью и минимальным расстоянием составили в среднем 3,5 мм и имели статистическую значимость ($p<0,01$; DSCF тест). Также стоит отметить, что при включении в факторный анализ времени оценки, не были получены значимые различия, это свидетельствует об отсутствии тенденции к повторному сращению после резекции коалиции.

При ретроспективном анализе факторов рецидива пяточно-ладьевидных коалиций (данные КТ до резекции и на разных сроках после нее) было выявлено, что все случаи частичного рецидива коалиции (5 случаев) были обусловлены неполной резекцией коалиции или наличием большого количества свободных костных фрагментов в области резекции. Пример неполной резекции коалиции приведен на рисунке 4.13.

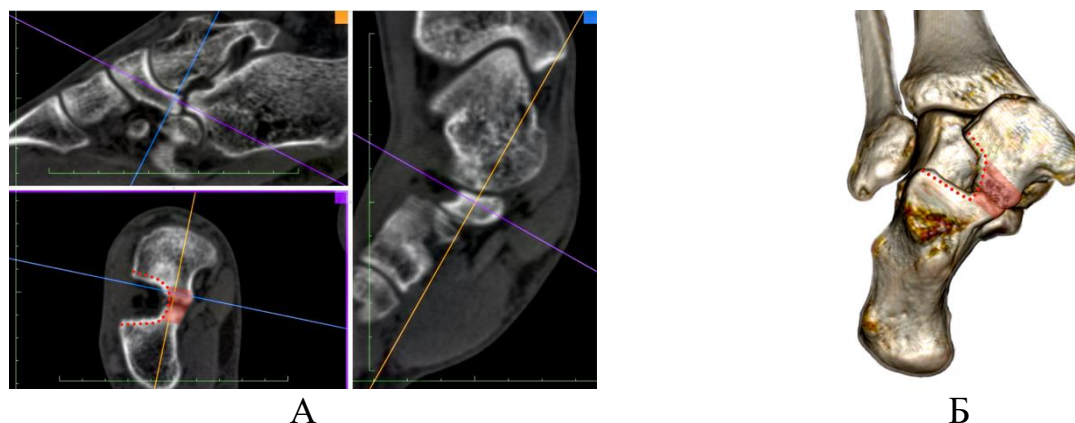


Рисунок 4.13. Пример неполной резекции пяточно-ладьевидной коалиции. А – 3D мультиплантарная реконструкция; Б – 3D визуализация. Пунктирной линией красного цвета отмечена зона резекции коалиции; красным цветом отмечена оставшаяся часть пяточно-ладьевидной коалиции.

Как видно из рисунка 4.13, в некоторых случаях может быть выполнена неполная резекция коалиции (зона выполненной резекции отмечена пунктирной линией красного цвета) – плантарная часть коалиции сохранена (отмечено красным цветом). Неполную резекцию коалиции можно отнести к техническим ошибкам. Для избежания подобных ошибок необходимо визуализировать плантарные мягкотканые структуры после выполнения резекции (рисунок 4.14).

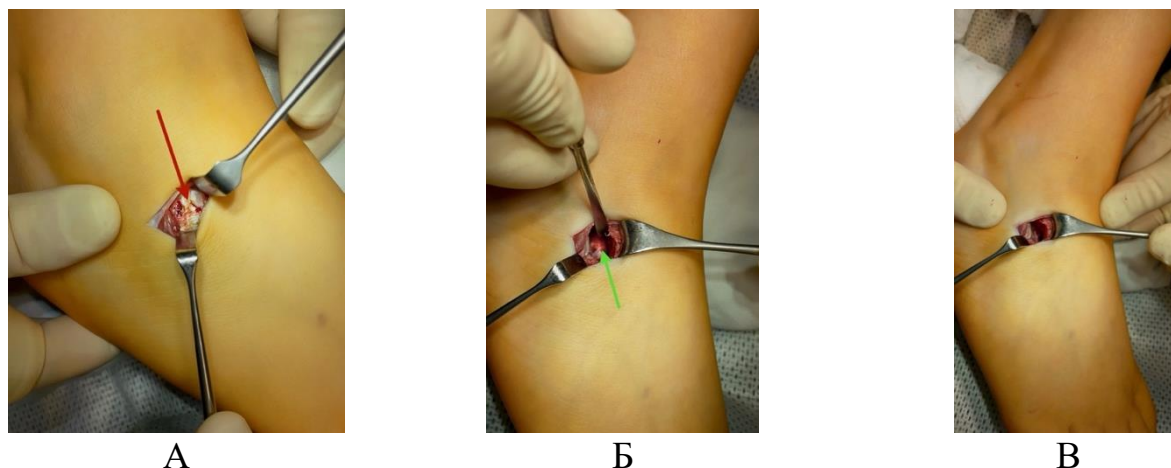


Рисунок 4.14. Клинический пример. Резекция пяточно-ладьевидной коалиции. А – до резекции (стрелкой красного цвета отмечена пяточно-ладьевидная коалиция); Б – после резекции (стрелкой зеленого цвета отмечена подкожно-жировая клетчатка плантарной части стопы); В – оценка пяточно-ладьевидной мобильности после резекции коалиции.

Как можно увидеть на рисунке 4.14, показателем полной резекции пяточно-ладьевидной коалиции является визуализация подкожно-жировой клетчатки плантарной части стопы. Также для определения полноты резекции коалиции интраоперационно оценивается пяточно-ладьевидная мобильность. При анализе интраоперационной оценки мобильности во всех случаях после полной резекции коалиции отмечалось увеличение пяточно-ладьевидной мобильности, что является важным клиническим инструментом оценки полноты резекции.

Для анализа рисков повреждения костей предплюсны при резекции пяточно-ладьевидных коалиций (повреждение sustentaculum tali, латеральной части головки таранной кости) был проведен анализ данных КТ после хирургического лечения ($n=59$). При этом учитывался способ резекции – классический, описанный в литературе, и новые разработанные способы (определение уровня остеотомии пяточной кости при резекции пяточно-ладьевидной коалиции и способ резекции пяточно-ладьевидной коалиции (патент РФ на изобретение «Способ резекции пяточно-ладьевидных коалиций» №2827853, 02.10.2024). Для этого была создана модель Лог-линейной регрессии, в которую включены следующие факторы: способы резекции (классический и разработанные новые), а также повреждения костей предплюсны (есть/ нет). Модель показала хорошее соответствие – $R^2_{McF}=0,92$; $p=0,014$, отношение рисков $=6,46$. График предельных средних изображен на рисунке 4.15.

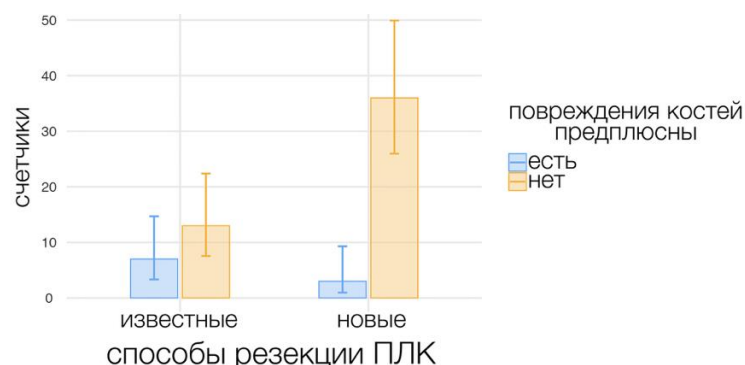


Рисунок 4.15. График предельных средних модели Лог-линейной регрессии ($n=84$).

Как можно увидеть из рисунка 4.15, использование новых разработанных способов резекции пяточно-ладьевидной коалиции, исходя из данных модели, позволяет снизить вероятность повреждения костей предплюсны в 6,5 раз.

4.1.2 Резекция таранно-пяточных коалиций

В литературе отсутствуют четкие критерии определения уровня остеотомии и объема резекции таранно-пяточных коалиций. В связи с этим был разработан алгоритм резекции наиболее часто встречающейся формы таранно-пяточной коалиции, затрагивающей медиальную фасетку подтаранного сустава. Исходя из анатомических особенностей данной области, таранно-пяточная коалиция в области медиальной фасетки располагается непосредственно под сухожилием длинного сгибателя пальцев. Для выделения области коалиции требуется рассечение только оболочки длинного сгибателя пальцев, причем, после рассечения висцеральной части оболочки сухожилия, производится субпериостальное выделение зоны коалиции (рисунок 4.16).

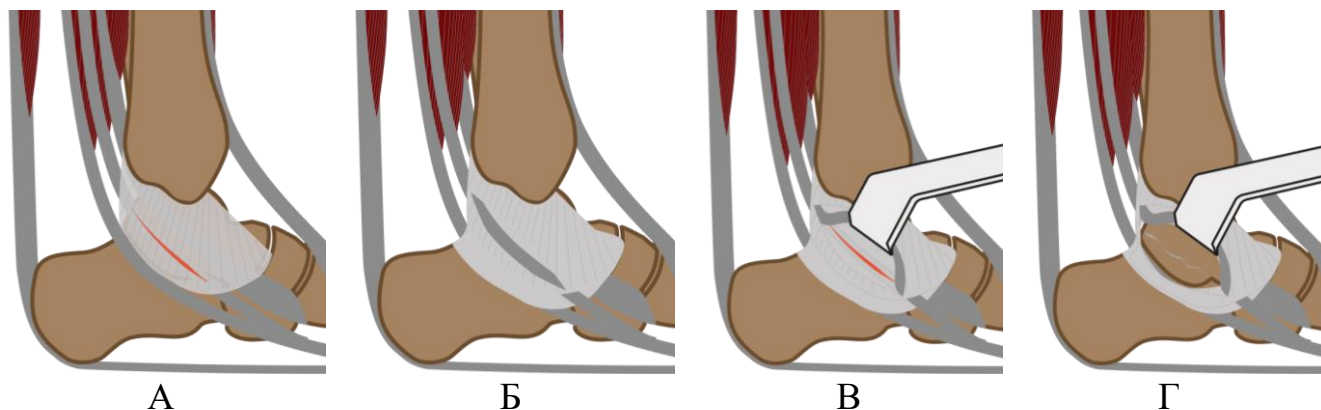


Рисунок 4.16. Схема выделения таранно-пяточной коалиции в области медиальной фасетки подтаранного сустава. А – рассечение удерживателя сгибателей в области канала длинного сгибателя пальцев; Б – выделение сухожилия длинного сгибателя пальцев; В – рассечение висцерального листка канала сухожилия длинного сгибателя пальцев; Г – субпериостальное выделение области коалиции.

Как показано на рисунке 4.16, для доступа к медиальной фасетке требуется рассечение оболочек только сухожилия длинного сгибателя пальцев. Для определения уровня остеотомии необходима визуализация нижней части sustentaculum tali. Параллельно нижнему краю sustentaculum tali на расстоянии 3-4 мм выполняется сечение пяточной кости. Затем производится иссечение параллельного костного блока шириной около 5-6 мм. После этого выполняется

резекция в области иссеченного блока костными кусачками Люэра и высокоскоростным костным бором до визуализации гиалинового хряща задней фасетки подтаранного сустава. Ориентация плоскостей дальнейшей резекции определяется, исходя из хода задней фасетки подтаранного сустава до полной визуализации всей задней фасетки подтаранного сустава и тарзального канала (рисунок 4.17).

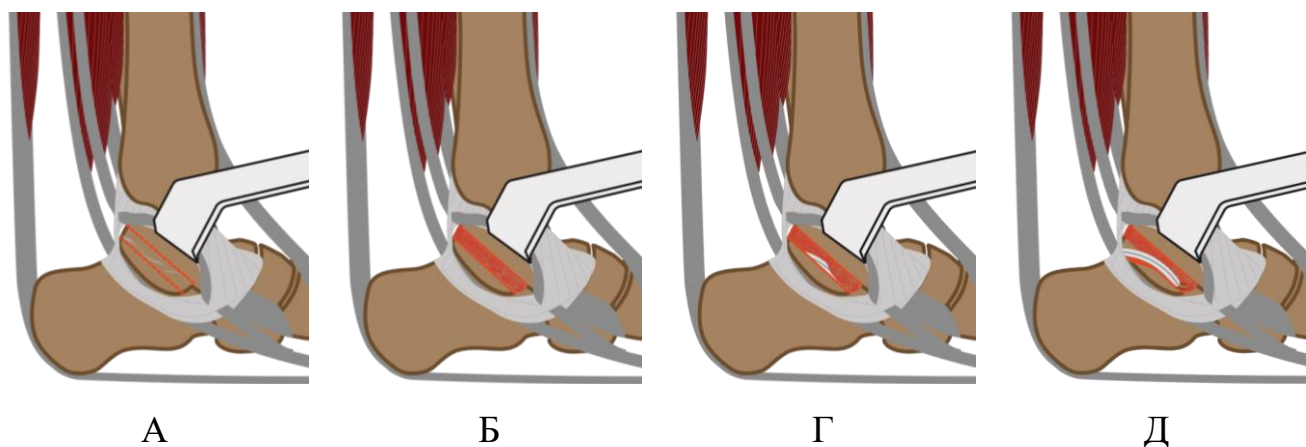
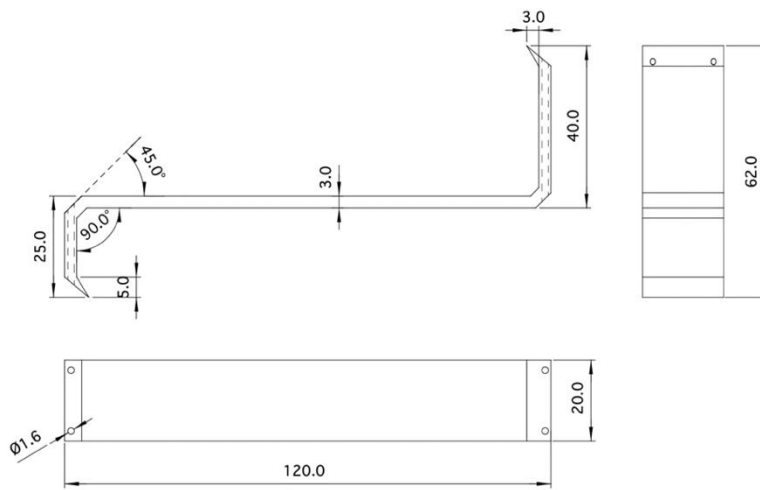


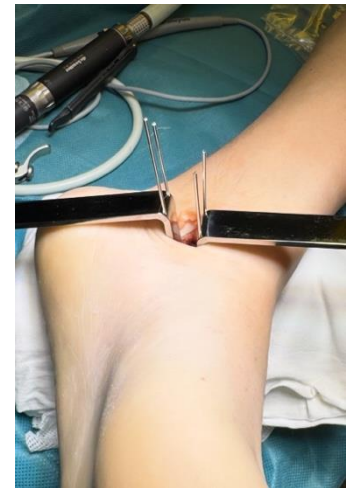
Рисунок 4.17. Схема резекции таранно-пяточной коалиции в области медиальной фасетки подтаранного сустава. А – определение плоскостей сечения, Б – иссечение параллельного костного блока, В – визуализация части задней фасетки подтаранного сустава при дальнейшей резекции, Г – резекция коалиции до полной визуализации задней фасетки подтаранного сустава.

Как можно отметить из рисунка 4.17, ориентиром для выбора плоскости сечения пяточной кости является нижний край sustentaculum tali, поскольку полная резекция sustentaculum tali приведет к миграции в зону резекции сухожилия длинного сгибателя I пальца. Ориентиром для дальнейшей резекции является задняя фасетка подтаранного сустава, вдоль хода которой осуществляется последующая резекция.

Для лучшей визуализации зоны резекции, а также оптимальной экспозиции области интереса при резекции таранно-пяточных коалиций был разработан инструмент – «Ретрактор тканей для осуществления доступа к костям» - патент РФ на изобретение №2806738, 03.11.2023 (рисунок 4.18).



А



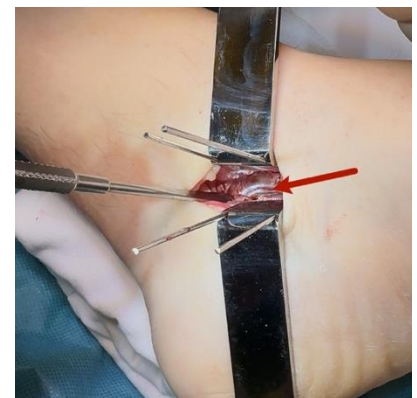
Б

Рисунок 4.18. Ретрактор тканей для осуществления доступа к костям. А – схема ретрактора; Б – пример использования ретрактора при резекции таранно-пяточной коалиции.

Как можно увидеть на рисунке 4.18, отличительными особенностями ретрактора являются заостренные края, которые позволяют его использовать в качестве распатора, а также отверстия для проведения спиц с целью фиксации ретрактора к кости, что позволяет стабильно его удерживать в заданном положении и препятствует миграции надкостницы и сухожилий при выполнении доступа к таранно-пяточной коалиции. Пример использования ретрактора приведен на рисунке 4.19.



А



Б

Рисунок 4.19. Пример использования ретрактора при резекции таранно-пяточной коалиции. А – до резекции; Б – после резекции.

На рисунке 4.19А видно, что ретрактор препятствует интерпозиции мягких тканей в область резекции коалиции. Пунктирной линией желтого цвета отмечена

зона таранно-пяточной коалиции, стрелкой красного цвета отмечено сухожилие длинного сгибателя пальцев. На рисунке 4.19Б можно увидеть заднюю фасетку подтаранного сустава (указано стрелкой красного цвета) после резекции коалиции.

Для определения вероятности неполной резекции коалиции была создана модель Лог-линейной регрессии, в которой учитывались следующие параметры: полная или неполная резекция коалиции по КТ после операции, а также метод резекции - классический/ новый (n=44). Модель показала хорошее соответствие – $R^2_{McF}=0,94$; вероятность ошибки была на границе статистической значимости ($p=0,042$), отношение рисков=5,92. График предельных средних изображен на рисунке 4.20.

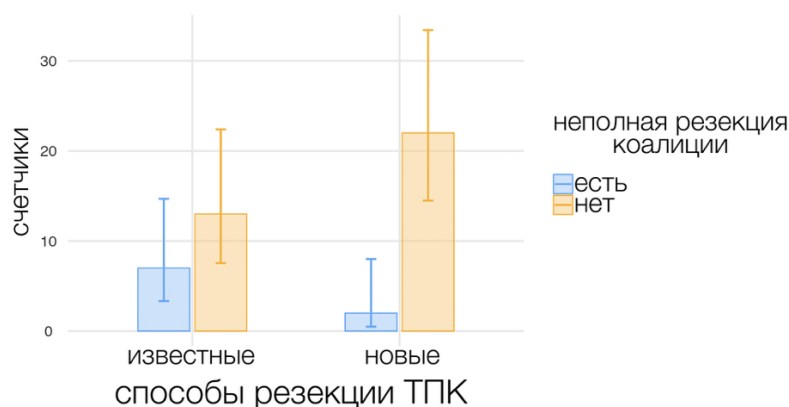


Рисунок 4.20. График предельных средних модели Лог-линейной регрессии (n=44).

На рисунке 4.20 графически показано, что вероятность неполной резекции коалиции при использовании предложенного метода в 6 раз ниже по сравнению с классическим методом ($OR=5,92$).

Таким образом, предложенные способы резекции пяточно-ладьевидных и таранно-пяточных коалиций позволяют существенно снизить вероятность неполной резекции коалиции и повреждения костей предплюсны во время выполнения резекции.

4.1.3 Резекция латерального отростка таранной кости

У пациентов с добавочными фасетками подтаранного сустава и ограничением его мобильности выполнялась резекция латерального отростка таранной кости (рисунок 4.21).

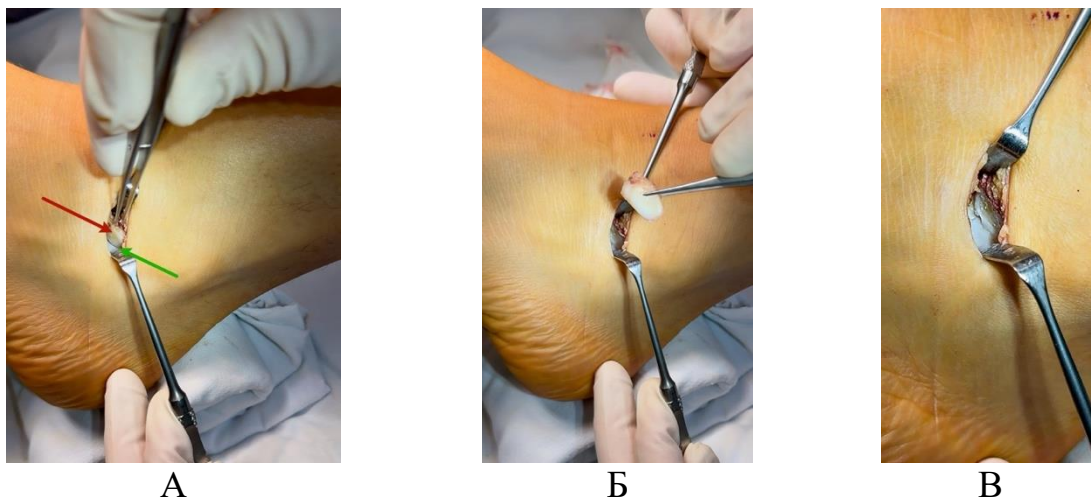


Рисунок 4.21. Клинический пример. Резекция латерального отростка таранной кости. А – вид добавочной передне-латеральной фасетки подтаранного сустава (стрелкой зеленого цвета указана задняя фасетка подтаранного сустава; стрелкой красного цвета указана добавочная фасетка); Б – резецированная часть латерального отростка таранной кости, которая образовывала добавочную фасетку подтаранного сустава; В – вид задней фасетки подтаранного сустава и латерального отростка таранной кости после резекции добавочной фасетки.

На рисунке 4.21 показано, что добавочная фасетка подтаранного сустава представляет собой расположение гиалинового хряща в области апекса и передней поверхности латерального отростка таранной кости. Стоит отметить, что у большинства пациентов с добавочными фасетками подтаранного сустава, ограничение инверзии стопы было обусловлено преимущественно болевым синдромом и в меньшей степени изменением геометрии подтаранного сустава (рисунок 4.22).

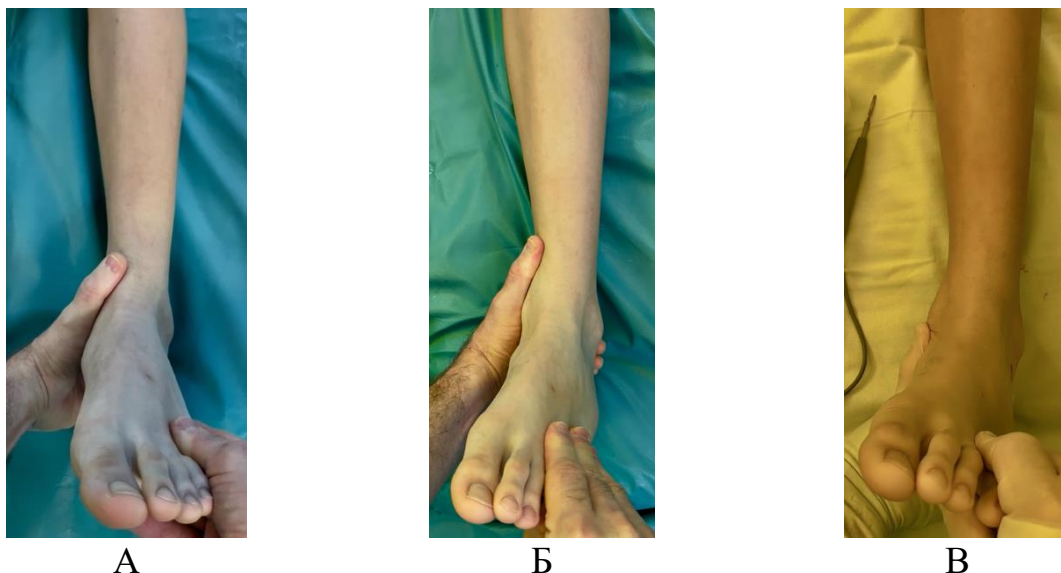


Рисунок 4.22. Величина пассивной инверзии стопы до анестезиологического пособия (А), после начала действия анестезии (Б) и после резекции латерального отростка таранной кости.

Как можно увидеть на рисунке 4.22 А, Б, максимальное увеличение пассивной инверзии стопы отмечается после начала действия анестезии. После резекции добавочной фасетки подтаранного сустава пассивная инверзия стопы существенно не изменяется (рисунок 4.22В). Из всех пациентов, которым было выполнено данное вмешательство ($n=11$), лишь у двух пассивная инверзия стопы значительно не увеличилась как после начала действия анестезии, так и после резекции латерального отростка таранной кости. В 4 случаях добавочная фасетка подтаранного сустава сочеталась с тарзальными коалициями.

4.2 Рентгенологическая оценка мобильности после резекции коалиции

Для оценки мобильности подтаранного сустава после резекции коалиции интраоперационно выполнялись функциональные рентгенограммы в боковой проекции в положении максимальной инверзии стопы до резекции и непосредственно после резекции коалиции с целью оценки степени увеличения мобильности подтаранного сустава. Для этого производился расчет угла тарзального синуса (рисунок 4.23).

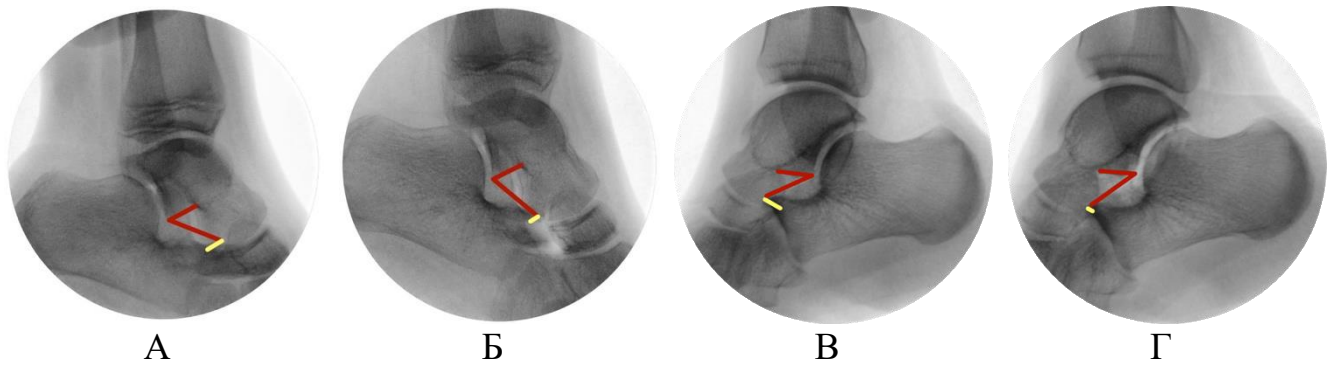


Рисунок 4.23. Пример выполнения функциональных рентгенограмм в положении максимальной инверзии у пациентов до резекции коалиции (А – пяточно-ладьевидная коалиция; В – таранно-пяточная коалиция) и непосредственно после резекции (Б – пяточно-ладьевидная коалиция; Г – таранно-пяточная коалиция). Красным цветом указан угол тарзального синуса и отмечен передний отросток пяточной кости, пересекающий таранную кость.

Рентгенологические критерии изменения положения подтаранного сустава при инверзии до и после резекции коалиции представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Изменение пассивной инверзии подтаранного сустава после резекции коалиции (n=27)

Исследуемый критерий	Положение подтаранного сустава	Таранно-пяточные коалиции	Пяточно-ладьевидные коалиции
угол тарзального синуса/°	до резекции	22,5 (18,8; 24,3)	29,0 (28,3; 31,0)
	после резекции	31,0 (28,0; 34,5)	41,5 (39,0; 44,0)
таранно-пяточное соотношение/ %	до резекции	65,0 (59,5; 69,0)	58,5 (57,3; 61,0)
	после резекции	28,5 (22,8; 34,5)	26,0 (21,3; 28,8)

Анализ данных таблицы 4.1 показал, что у пациентов с таранно-пяточными коалициями имелось более эверзионное положение подтаранного сустава по сравнению с пациентами с пяточно-ладьевидными коалициями, однако данные различия не были статистически значимыми. С другой стороны, по исследуемым критериям отмечались статистически значимые различия при сравнении степени инверзии в подтаранном суставе до и после резекции коалиции (Т-критерий Wilcoxon; $p < 0,05$). Графики изменения степени инверзии подтаранного сустава после выполнения резекции коалиции представлены на рисунке 4.24.

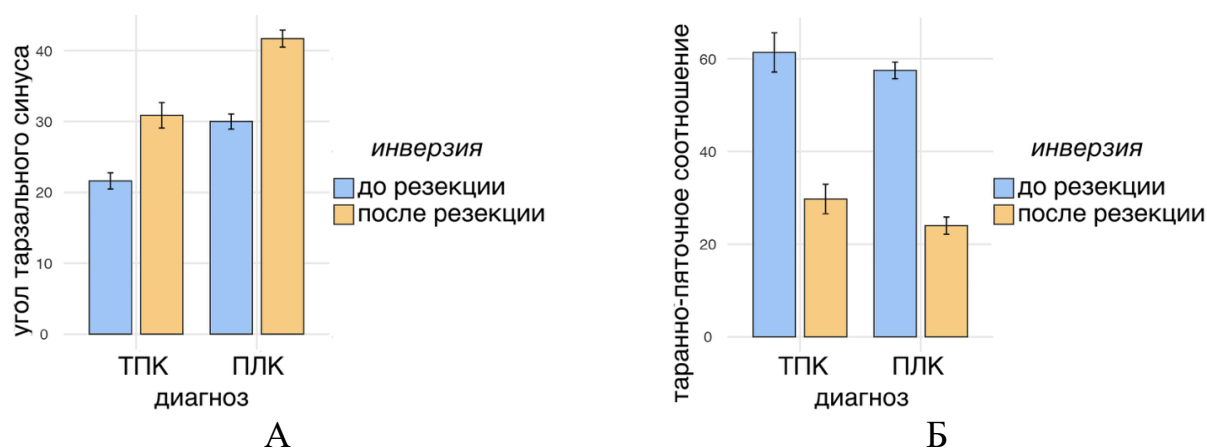


Рисунок 4.24. Графики изменения степени инверзии подтаранного сустава при оценке угла тарзального синуса (А) и таранно-пяточного сочленения (Б) после резекции коалиции (n=27).

Как можно увидеть на рисунке 4.24, после резекции коалиции пассивная инверзия увеличивалась при оценке угла тарзального синуса в среднем на 10° , таранно-пяточного соотношения на 30%. Данные показатели свидетельствуют о том, что оценка таранно-пяточного соотношения является более чувствительным критерием положения подтаранного сустава.

4.3 Клиническая оценка мобильности после резекции коалиций

4.3.1 Результаты оценки мобильности подтаранного сустава после резекции коалиций

Для оценки изменения мобильности суставов предплюсны после резекции коалиций был проведен анализ изменения положения заднего отдела стопы до и непосредственно после резекции коалиции (рисунок 4.25).



Рисунок 4.25. Определение мобильности суставов предплюсны путем выполнения максимальной варусной девиации заднего отдела стопы до (А) и после выполнения резекции коалиции (Б).

С целью исключения влияния других факторов (рефлекторный мышечный спазм, болевые ощущения при оценке движений), максимальная варусная девиация заднего отдела стопы до резекции выполнялась непосредственно перед хирургическим вмешательством под общей или регионарной анестезией, что позволяло оценить истинное увеличение мобильности суставов предплюсны сразу после резекции коалиции. Данные, полученные в этом исследовании, отражены на графике (рисунок 4.26).

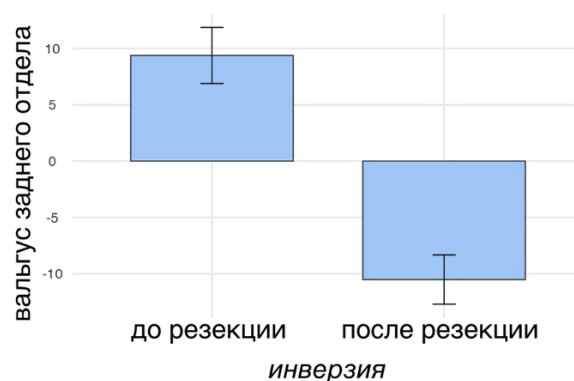


Рисунок 4.26. График изменения величины пассивной коррекции вальгуса заднего отдела стопы после резекции коалиции (n=29).

На графике 4.26 можно видеть, что величины пассивной коррекции вальгуса заднего отдела значительно разнятся в группах до и после резекции коалиции (Т-критерий Wilcoxon; $p < 0,05$). Также можно отметить, что в среднем после резекции коалиции вальгус заднего отдела корригировался на $18-21^\circ$.

Для детального анализа изменения мобильности суставов предплюсны после резекции коалиции проведена сравнительная оценка между группами пациентов с таранно-пяточными и пяточно-ладьевидными коалициями. График изменения вальгуса заднего отдела при пассивной инверзии стопы в зависимости от диагноза представлен на рисунке 4.27.

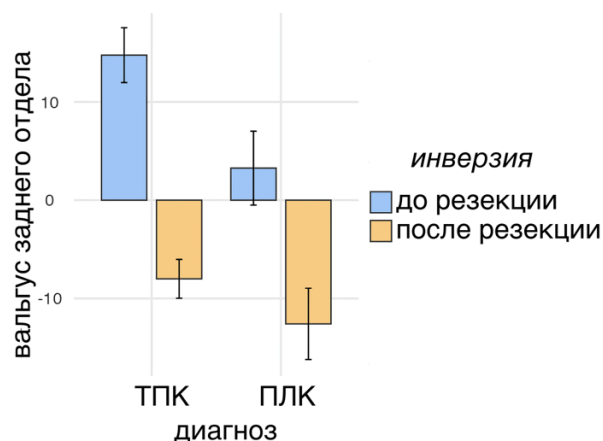


Рисунок 4.27. Динамика изменения вальгуса заднего отдела стопы при пассивной инверзии до резекции (А) и после резекции (Б) у пациентов с таранно-пяточными и пяточно-ладьевидными коалициями (n=128).

На графике рисунка 4.27 видно, что несмотря на различия в пассивной коррекции вальгуса заднего отдела до резекции коалиции у пациентов с таранно-пяточными и пяточно-ладьевидными коалициями, вальгус заднего отдела при пяточно-ладьевидной коалиции был больше (медиана разницы около 10°), различия в пассивной коррекции вальгуса после резекции коалиции между группами были статистически незначимыми, что свидетельствует о большем потенциале мобильности суставов предплюсны после резекции в группе пяточно-ладьевидных коалиций.

4.3.2 Клиническая оценка мобильности суставов предплюсны после устранения причин анатомической ригидности

С целью определения движений в суставах предплюсны на разных сроках после хирургического лечения производилась оценка мобильности после резекции коалиций с использованием следующих клинических тестов:

- тест «вставания на цыпочки»,
- определение пассивной инверзии/ эверзии стопы,
- оценка мобильности подтаранного сустава на основании определения размеров тарзального синуса,
- оценка пяточно-ладьевидной мобильности,
- определение трансляции пяточной кости.

В группу исследования вошли пациенты с таранно-пяточными коалициями (до хирургического лечения – N=38) и пяточно-ладьевидными коалициями (до хирургического лечения – N=54). Данные клинических тестов мобильности на разных сроках после хирургического лечения приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценка мобильности суставов предплюсны на разных сроках после резекции коалиции

Метод оценки	До лечения		Время после резекции коалиции					
			6 месяцев		1 год		2 года	
	количество положительных тестов/ общее количество/ %							
	ПЛК	ТПК	ПЛК	ТПК	ПЛК	ТПК	ПЛК	ТПК
тест «вставания на цыпочки»	37/54/ 68,52	30/38/ 78,95	22/52/ 42,31	18/36/ 50,00	22/50/ 44,00	18/35/ 51,43	21/48/ 43,75	18/34/ 52,94
определение пассивной инверзии/ эверзии стопы	48/54/ 88,89	34/38/ 89,47	29/54/ 53,70	20/38/ 52,63	28/52/ 53,85	19/36/ 52,78	27/50/ 54,00	18/34/ 52,94
оценка пяточно-ладьевидной мобильности	53/54/ 98,15	4/38/ 10,53	10/54/ 18,52	4/38/ 10,53	9/52/ 17,31	4/36/ 11,11	8/50/ 16,00	4/34/ 11,76
определение трансляции пяточной кости	11/54/ 20,37	35/38/ 92,11	6/54/ 11,11	18/38/ 47,37	6/52/ 11,54	18/36/ 50,00	5/50/ 10,00	17/34/ 50,00
определение мобильности подтаранного сустава на основании оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы	11/54/ 20,37	31/38/ 81,58	6/54/ 11,11	7/38/ 18,42	5/52/ 9,62	6/36/ 16,67	5/50/ 10,00	5/34/ 14,71

Как можно увидеть в таблице 4.2, большинство положительных тестов мобильности было у пациентов с таранно-пяточными коалициями. Также можно отметить, что значимых различий в результатах тестов в послеоперационном периоде отмечено не было, что свидетельствует о сохранении результата лечения ($p=0,081$; тест Kruskal — Wallis). В большинстве случаев, полученное увеличение мобильности сохранялось на всем протяжении наблюдения (рисунок 4.28).



А



Б

Рисунок 4.28. Сохранение пассивной инверзии левой стопы после резекции таранно-пяточной коалиции. А – до хирургического лечения; Б – через 4 года после лечения.

Как видно на рисунке 4.28, до хирургического лечения у пациента отмечалось ограничение пассивной инверзии левой стопы. Через 4 года после резекции таранно-пяточной коалиции сохраняется удовлетворительная пассивная инверзия, сопоставимая с контралатеральной стороной.

4.4 Результаты оценки изменения формы стопы после резекции коалиций

Для оценки потенциала самопроизвольной коррекции деформаций стоп после резекции тарзальных коалиций было проведено сравнительное исследование (n=38, из них пяточно-ладьевидные коалиции – 21, таранно-пяточные – 17). Для этого оценивались основные клинические и рентгенометрические показатели формы стопы до и на разных сроках после резекции коалиции (6 месяцев – 3 года). По ряду параметров были получены значимые различия (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Данные однофакторного дисперсионного анализа Kruskal — Wallis по статистически значимым параметрам

Показатель	χ^2	df (степени свободы)	p
угол латерального смещения ладьевидной кости	14,15	3	0,003
угол Meary Lat	20,28	3	<0,001
вальгус заднего отдела	9,76	3	0,021
угол наклона пяточной кости	9,30	3	0,026

Из таблицы 4.3 видно, что из статистически значимых параметров наибольший потенциал коррекции после резекции коалиции имеют угол латерального смещения ладьевидной кости и латеральный угол Meary. Графики динамики изменений параметров с самыми высокими показателями χ^2 приведены на рисунке 4.29.

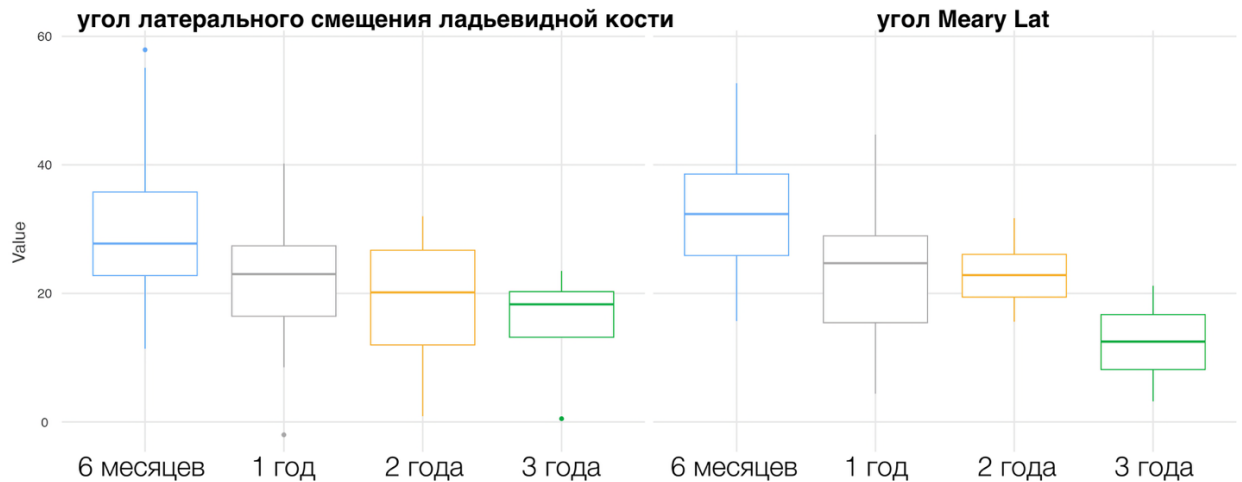


Рисунок 4.29. Графики изменения значимых рентгенометрических параметров на разных сроках после резекции коалиции (n=26).

Как можно увидеть на рисунке 4.29, с течением времени после выполнения резекции коалиции отмечается тенденция к коррекции деформации стопы. При этом с заменой фактора «время оценки после резекции» на фактор «тип коалиции» значимых различий выявлено не было. Однако, при включении фактора «возраст» были получены значимые результаты по большинству параметров также с положительными значениями χ^2 . Это свидетельствует о том, что потенциал самопроизвольной коррекции после резекции коалиции обратно пропорционален возрасту. После 12-13 лет возможности к самопроизвольной коррекции после резекции коалиции существенно снижаются. Пример уменьшения деформации стопы после резекции коалиции приведен на рисунке 4.30.



Рисунок 4.30. Изменение формы стопы после резекции таранно-пяточной коалиции. А – до резекции; Б – через 6 месяцев после резекции. Линией желтого цвета показана высота ладьевидной кости.

Таким образом, на рисунке 4.30 показано, что с течением времени отмечается уменьшение деформации стопы. Стоит отметить, что данная особенность имела место у детей младшего возраста (до 10 лет) с невыраженными деформациями стоп (вальгус заднего отдела до 15°).

4.5 Коррекция укорочения трехглавой мышцы голени

У пациентов, имеющих плоскостопие с укорочением трехглавой мышцы голени, ее удлинение необходимо во всех случаях. У детей с тарзальными коалициями при коррекции деформации стопы удлинение трехглавой мышцы голени требовалось в 57% случаев. Часто используемые в клинической практике уровни удлинения трехглавой мышцы голени приведены на рисунке 4.31.

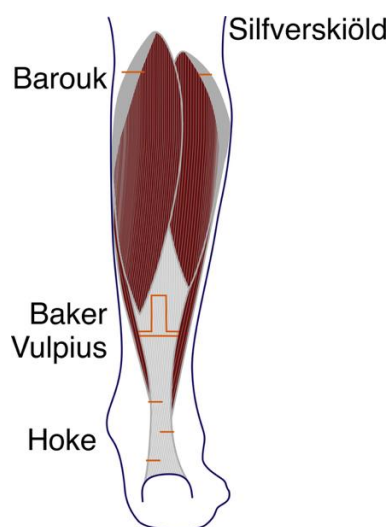


Рисунок 4.31. Уровни удлинения трехглавой мышцы голени у детей с ригидным плоскостопием.

На рисунке 4.31 показано, что удлинение трехглавой мышцы голени у детей с ригидным плоскостопием может выполняться на 3 уровнях: уровень икроножной мышцы, уровень апоневроза икроножной мышцы и уровень ахиллова сухожилия. Выбор того или иного метода удлинения трехглавой мышцы голени зависел от личных предпочтений, величины ретракции, а также от количества ретрагированных мышц (укорочение всей трехглавой мышцы голени или укорочение икроножной мышцы). Удлинение трехглавой мышцы голени на проксимальном уровне (Barouk, Silfverskiöld) характеризуется большей селективностью, однако меньшим потенциалом удлинения; с другой стороны, удлинение на дистальном уровне (Hoke) обладает максимальным потенциалом коррекции, однако не является селективным (удлиняется и камбаловидная и икроножная мышца) [135]. В настоящем исследовании удлинение трехглавой мышцы голени выполнялось на уровне ахиллова сухожилия (перкутанная ахиллопластика по методике Hoke) и на уровне икроножной мышцы (рецессия медиальной головки икроножной мышцы по методике Barouk).

4.5.1 Результаты удлинения трехглавой мышцы голени посредством ахиллопластики

Для оценки динамики тыльного сгибания стоп на разных сроках наблюдения был проведен сравнительный анализ его результатов у пациентов, которым выполнялась перкутанная ахиллопластика по методике Hoke. Оценка тыльного сгибания стопы проводилась в двух вариантах: изолированное тыльное сгибание стопы, а также тыльное сгибание стопы с экстензией I пальца. Данные изменения величины тыльного сгибания стоп приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Изменения степени тыльного сгибания стоп после проведенного хирургического лечения в сочетании с перкутанной ахиллопластикой (n=110)

Вариант выполнения тыльного сгибания	До операции	Срок после операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Тыльное сгибание стопы /°	17,20 (15,90; 22,20)	22,60 (13,00; 23,00)*	20,70 (14,70; 21,00)*	21,50 (18,23; 24,88)*	19,30 (16,05; 23,55)
Тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца /°	1,90 (-1,00; 9,90)	14,05 (2,30; 4,50)*	10,50 (0; 11,7)*	14,30 (10,45; 15,80)*	10,80 (4,90; 16,80)*

* по сравнению с группой «до операции» $p < 0,05$ (Т-критерий Wilcoxon)

Как отмечено в таблице 4.4, значимые изменения величины тыльного сгибания стоп касались как степени тыльного сгибания при стабилизации подтаранного сустава и сустава Шопара, так и изолированного тыльного сгибания стопы. Значимых изменений в величине изолированного тыльного сгибания отмечено не было через 3 года после операции по сравнению с исходными значениями. Динамика изменений степени тыльного сгибания стоп на разных сроках наблюдения представлена на рисунке 4.32.

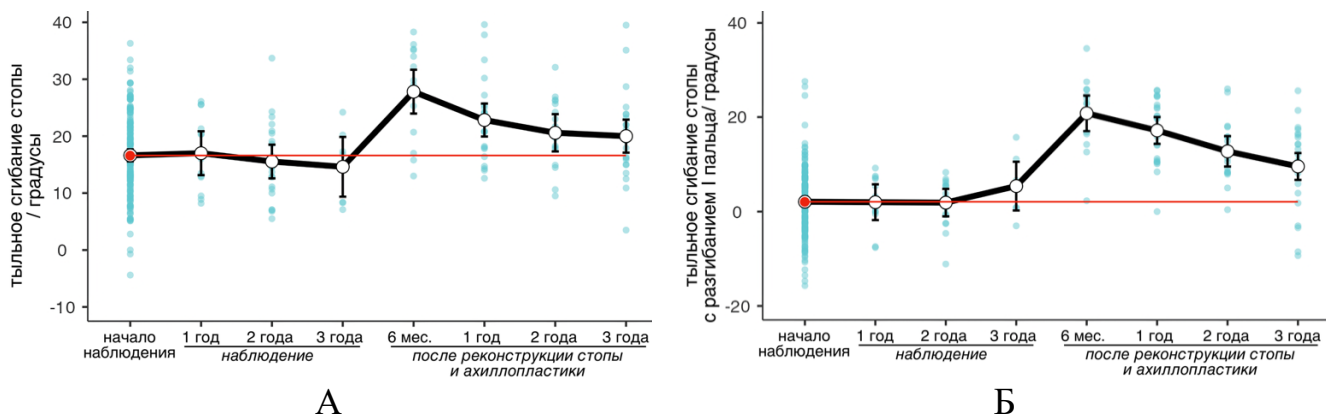


Рисунок 4.32. Динамика изменений величины тыльного сгибания стоп на разных сроках наблюдения до и после реконструктивных вмешательств в сочетании с ахиллопластикой (n=110).

На рисунке 4.32 показано, что наиболее значимые изменения тыльного сгибания стопы после хирургического лечения наблюдались при выполнении оценки со стабилизацией суставов предплюсны (пассивное разгибание I пальца стопы). Напротив, медиана значений при оценке величины изолированного тыльного сгибания после проведенного хирургического лечения отличалась не

так значительно. Также стоит отметить некоторое уменьшение величины тыльного сгибания стоп в отдаленных сроках наблюдения после проведенного хирургического лечения. Эти данные свидетельствуют о формировании рецидива ретракции трехглавой мышцы голени. Однако, при оценке степени тыльного сгибания стоп с пассивной экстензией I пальца медиана значений тыльного сгибания незначительно превышала 10 градусов, что не позволяет считать данные изменения полным рецидивом ретракции трехглавой мышцы голени после операции. Для детального анализа изменений величины тыльного сгибания стопы в различных вариантах проведен корреляционный и регрессионный анализ. При этом коэффициент корреляции Spearman по величине тыльного сгибания стопы и времени наблюдения после операции для изолированного тыльного сгибания стопы был «-0,307» ($p=0,002$), а для тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца составил «-0,413» ($p=0,000$). Графики регрессионных моделей динамики изменения величины тыльного сгибания стопы на разных сроках наблюдения после хирургического лечения представлены на рисунке 4.33.

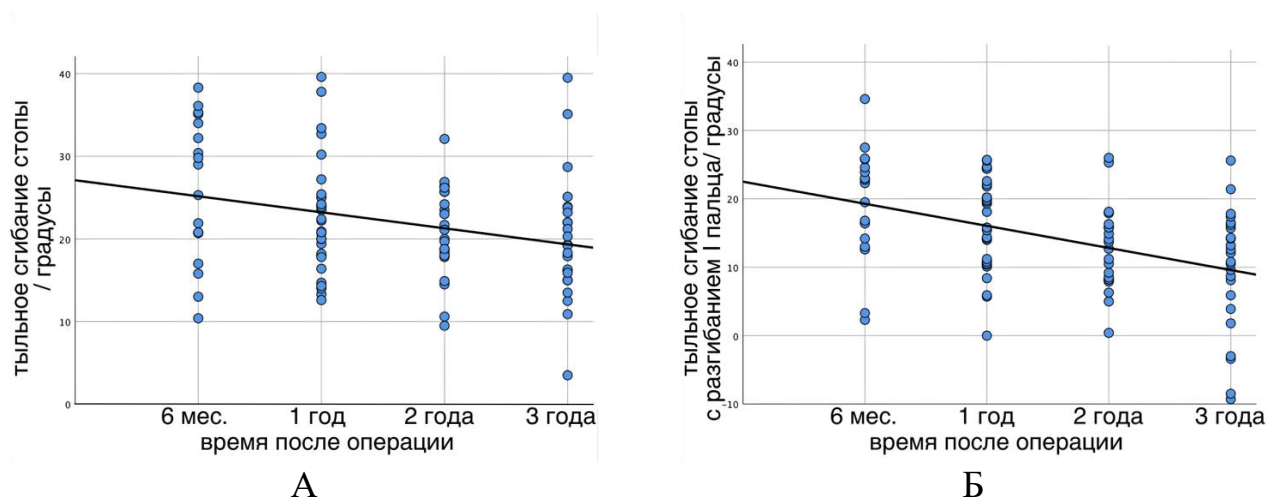


Рисунок 4.33. Графики регрессионных моделей, отражающих динамику тыльного сгибания стопы на разных сроках наблюдения.

На рисунке 4.33 отмечается значимое снижение как изолированного тыльного сгибания стопы, так и тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца со временем после проведенной ахиллопластики. Таким образом, можно заключить, что после удлинения ахиллова сухожилия отмечается его ретракция в среднем на 10° за три года после ахиллопластики. Стоит отметить, что никому из

пациентов во всех группах наблюдения не проводилась повторная ахиллопластика. Это связано с тем, что, несмотря на частичный рецидив ретракции трехглавой мышцы голени, другие показатели, характеризующие величину деформации стопы, не имели значимой тенденции к рецидивированию.

Для оценки величины тыльного сгибания при выполнении различных вариантов коррекции деформации стопы проведен сравнительный анализ. Графики размаха значений величин тыльного сгибания стопы при различных вариантах реконструкции стоп приведены на рисунке 4.34.

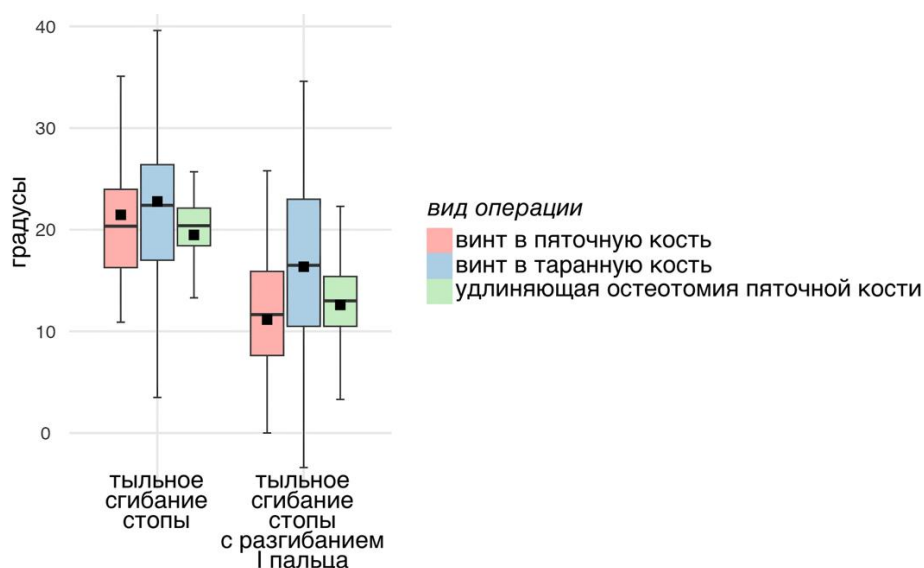


Рисунок 4.34. Графики размаха значений величины тыльного сгибания стопы после различных видов реконструкций стоп (n=164).

На рисунке 4.34, медиана значений тыльного сгибания стопы существенно не отличалась при разных вариантах реконструкции стоп. С другой стороны, у пациентов, которым выполнялся артрорез подтаранного сустава (винт в таранную кость) отмечалась большая величина тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца. При этом величина изолированного тыльного сгибания стоп значимо не различалась ($p=0,384$; Н-критерий Kruskal — Wallis), а величина тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца имела значимое различие между разными вариантами реконструкции стопы ($p=0,027$; Н-критерий Kruskal — Wallis). Исходя из полученных данных, можно сделать заключение, что вариант стабилизации подтаранного сустава влияет на вероятность и темпы развития рецидива ретракции трехглавой мышцы голени. Исходя из проведенных

сравнительных исследований, артрорез подтаранного сустава с блокирующим винтом в таранную кость имеет наибольший потенциал коррекции и стабилизации эверзии подтаранного сустава, что, как показало данное исследование, влияет на вероятность и темпы развития повторной ретракции трехглавой мышцы голени.

Для определения изменений основных ультразвукографических показателей икроножной мышцы после выполнения перкутанной ахиллопластики, было проведено сравнительное исследование до лечения, а также через 1 год после операции (рисунок 4.35).

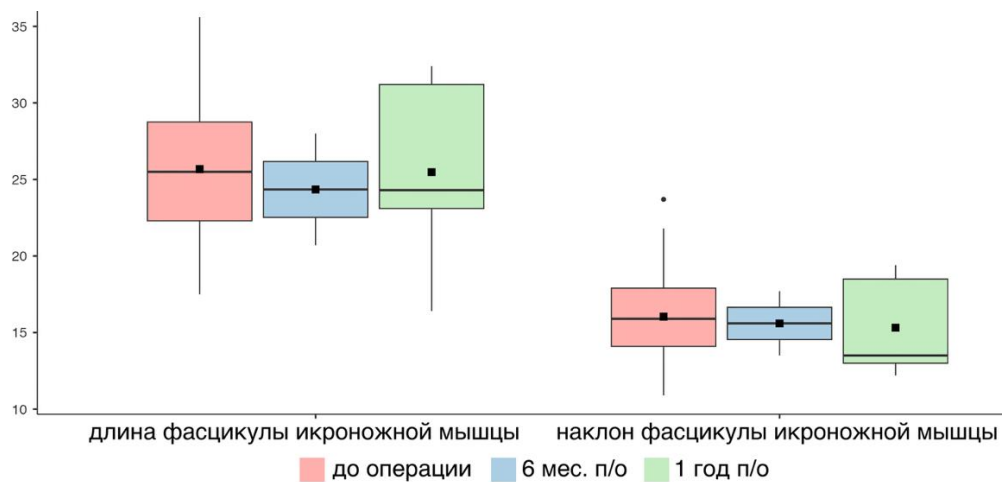


Рисунок 4.35. График изменений ультразвукографических показателей икроножной мышцы до и после выполнения перкутанной ахиллопластики (n=64).

Как можно увидеть на рисунке 4.35, основные ультразвукографические параметры икроножной мышцы (длина фасцикулы и угол пеннации) не имели значимых различий до и после выполнения ахиллопластики (длина фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы - $\chi^2=0,221$; $p=0,895$; наклон фасцикулы медиальной головки икроножной мышцы - $\chi^2=0,489$; $p=0,783$, дисперсионный анализ Kruskal — Wallis).

Таким образом, величина тыльного сгибания стопы имеет тенденцию к снижению с течением времени после выполнения перкутанной ахиллопластики, а анатомические особенности икроножной мышцы не меняются после выполнения ахиллопластики.

4.5.2 Результаты удлинения трехглавой мышцы голени посредством рецессии икроножной мышцы

В настоящем исследовании использовалась рецессия медиальной головки икроножной мышцы. Поскольку у практически всех пациентов с плоскостопием тест Silfverskiöld был отрицательным, для увеличения тыльного сгибания стопы требовалось удлинение икроножной мышцы. Перкутанная ахиллопластика использовалась для коррекции выраженного ограничения тыльного сгибания стопы после стабилизации суставов предплюсны (эквинусное положение стопы более 10°) в связи с тем, что рецессия медиальной головки икроножной мышцы позволяла увеличить тыльное сгибание стопы в среднем на $10\text{--}15^\circ$ (рисунок 4.36).

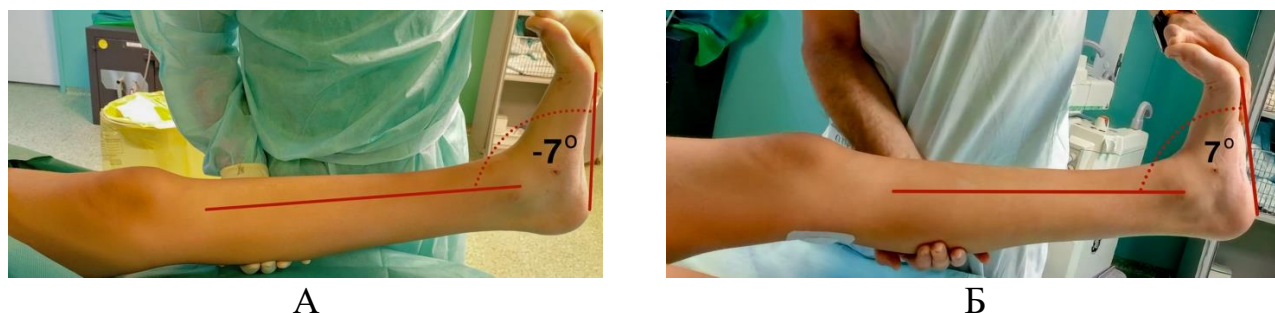


Рисунок 4.36. Возможность увеличения тыльного сгибания стопы после выполнения рецессии медиальной головки икроножной мышцы. А – до рецессии икроножной мышцы; Б – сразу после рецессии икроножной мышцы.

Как видно на рисунке 4.36, потенциал коррекции тыльного сгибания стопы в среднем составляет около 15° . Поскольку у пациентов с ретракцией трехглавой мышцы голени тыльное сгибание стопы в среднем составляет $3,3 (-1,4; 6,7)^\circ$, а у пациентов без ретракции - $16,2 (12,7; 20,3)^\circ$, потенциал коррекции тыльного сгибания стопы при рецессии медиальной головки икроножной мышцы является достаточным.

Для оценки различных вариантов удлинения трехглавой мышцы голени было проведено сравнительное исследование между перкутанной ахиллопластикой ($n=68$) и рецессией медиальной головки икроножной мышцы ($n=52$). Значимых различий в величине тыльного сгибания стопы в исследуемых группах выявлено не было - statistic = 1,91; df = 123; $p=0,058$; тест Brunner-Munzel.

С другой стороны, имелись значимые различия в величине тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца - statistic = 2,05; df = 140; p=0,042; тест Brunner-Munzel. Значения величины тыльного сгибания стоп при выполнении ахиллопластики и рецессии икроножной мышцы приведены на рисунке 4.37.

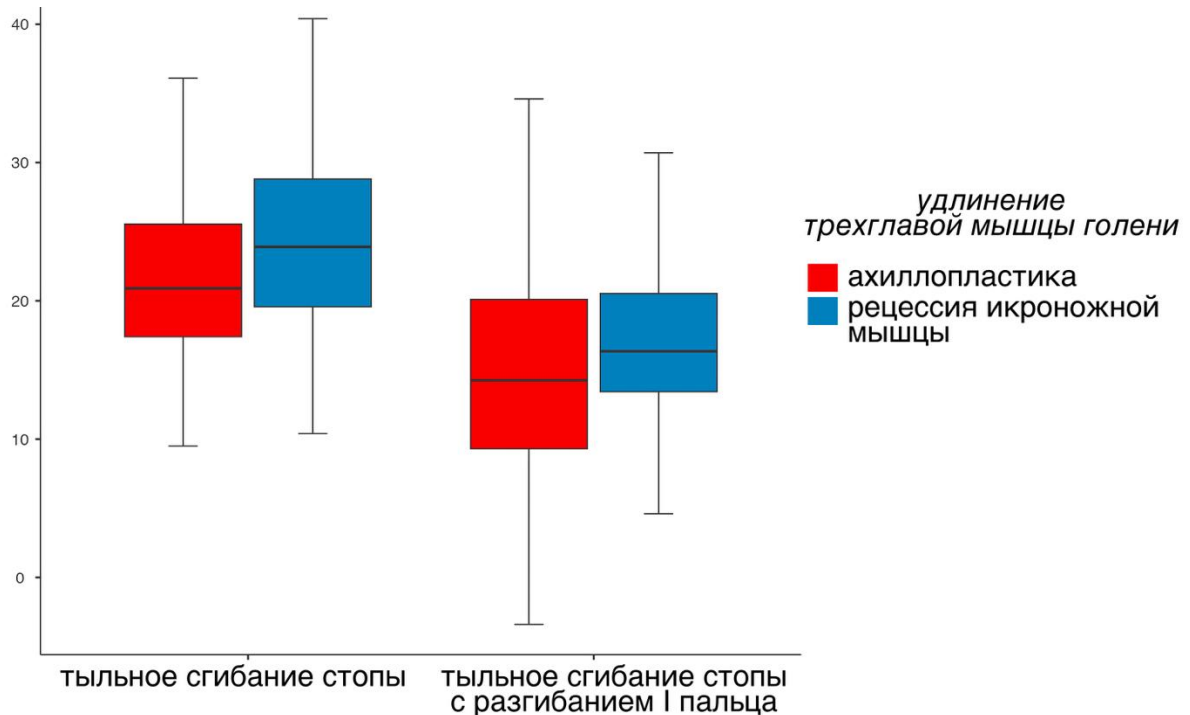


Рисунок 4.37. Величины тыльного сгибания стоп при разных вариантах удлинения трехглавой мышцы голени (n=120).

На графике рисунка 4.37 видно, что различия в медиане величины тыльного сгибания стопы у пациентов после ахиллопластики и рецессии икроножной мышцы незначительные. С другой стороны, медиана величины тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца имела более существенные различия - помимо более высокого показателя медианы, интерквартильный размах в группе с рецессией икроножной мышцы был ниже.

Для определения влияния на величину тыльного сгибания стоп метода удлинения трёхглавой мышцы голени на разных сроках после операции был проведен дисперсионный анализ (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Двухфакторный дисперсионный анализ Kruskal — Wallis влияния на величину тыльного сгибания стопы метода удлинения трехглавой мышцы голени на разных сроках наблюдения (n=120)

Вариант выполнения тыльного сгибания	Метод удлинения трехглавой мышцы голени					
	рецессия икроножной мышцы			ахиллопластика		
	χ^2	p	ϵ^2	χ^2	p	ϵ^2
тыльное сгибание стопы	9,68	0,021	0,176	7,31	0,063	0,081
тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца	4,68	0,197	0,085	15,62	0,001	0,175

Как можно увидеть из таблицы 4.5, время, прошедшее после хирургического лечения, оказывало значимое влияние на величину тыльного сгибания стопы при выполнении рецессии икроножной мышцы ($\chi^2=9,68$; $p=0,021$). Однако, гораздо большее влияние время, прошедшее после хирургического лечения, оказывало на величину тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца в группе после выполнения ахиллопластики ($\chi^2=15,62$; $p=0,001$). Для детальной оценки влияния временного фактора на величину тыльного сгибания стопы в зависимости от варианта удлинения трехглавой мышцы голени были проведены попарные сравнения (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Попарные сравнения Dwass-Steel-Critchlow-Fligner на разных временных этапах оценки

Попарные сравнения по срокам после операции		рецессия				ахиллопластика			
		тыльное сгибание стопы		тыльное сгибание с разгибанием I пальца		тыльное сгибание стопы		тыльное сгибание с разгибанием I пальца	
		W	p	W	p	W	p	W	p
6 месяцев	1 год	-1,14	0,851	-1,569	0,684	-2,687	0,228	-2,75	0,209
6 месяцев	2 года	2,48	0,297	1,352	0,775	-3,114	0,123	-3,90	0,029
6 месяцев	3 года	-3,18	0,110	-1,663	0,642	-3,289	0,092	-4,78	0,004
1 год	2 года	2,60	0,257	2,641	0,242	-0,056	1,000	-2,37	0,338
1 год	3 года	-1,57	0,685	-0,188	0,999	-1,481	0,722	-3,38	0,079
2 года	3 года	-3,93	0,028	-2,401	0,325	-1,073	0,873	-1,11	0,862

Как видно из таблицы 4.6, как в группе с рецессией икроножной мышцы, так и в группе с ахиллопластикой отмечалось постепенное снижение величины тыльного сгибания стоп (данные W-статистики на большинстве этапов имели

отрицательные значения). Однако, в группе с рецессией икроножной мышцы значимые различия были отмечены лишь в величине тыльного сгибания стопы при сравнении через 2 и 3 года. С другой стороны, величина тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца имела значимые различия через 2-3 года по сравнению с первичной оценкой (6 месяцев). Через 3 года после выполнения ахиллопластики тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца имело значимые различия по сравнению с началом наблюдения (тест Brunner-Munzel; $W=-4,7$; $p=0,004$). Динамика изменения тыльного сгибания стопы с течением времени после удлинения трехглавой мышцы голени изображена на рисунке 4.38.

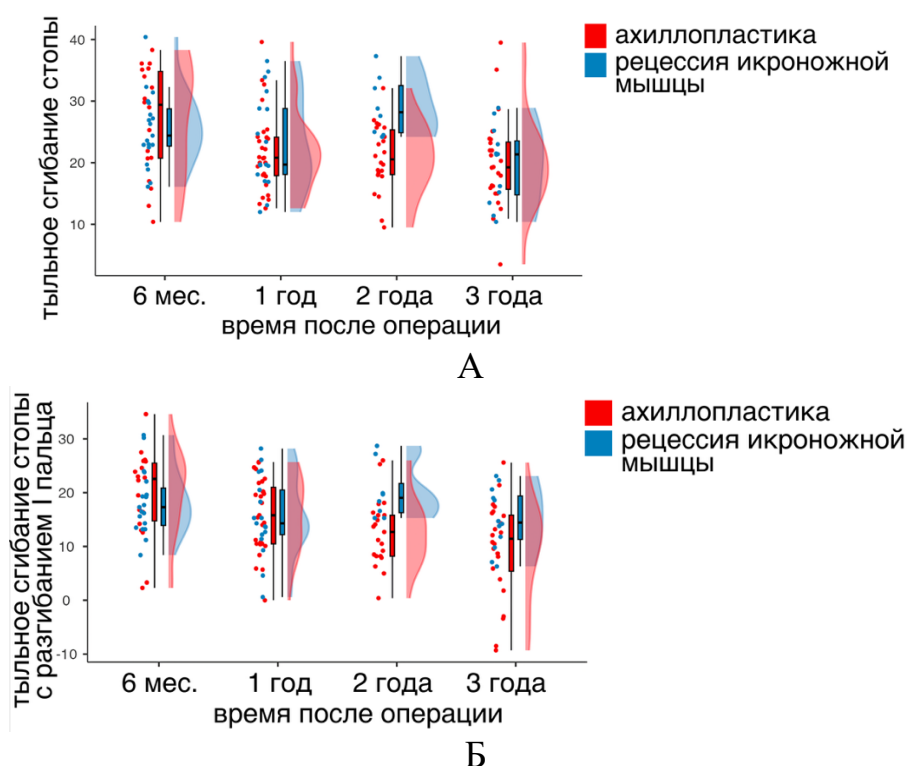


Рисунок 4.38. Динамика изменений с течением времени тыльного сгибания стоп в группах с выполнением ахиллопластики и рецессии икроножной мышцы ($n=120$). А – тыльное сгибание стопы; Б – тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца.

Как можно увидеть на рисунке 4.38, величина тыльного сгибания стопы после выполнения ахиллопластики через 6 месяцев составляла в среднем $29,4$ ($20,7$; $34,8$)°, что было больше по сравнению с рецессией икроножной мышцы – $24,4$ ($22,7$; $28,8$)°. Похожие различия наблюдались через 6 месяцев после удлинения при оценке тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца –

22,6 (14,7; 25,5)° после ахиллопластики и 17,3 (13,9; 20,9)°. Однако, с течением времени тыльное сгибание стопы после выполнения ахиллопластики постепенно снижается, а после выполнения рецессии икроножной мышцы снижение величины тыльного сгибания стопы не имеет статистической значимости. Тыльное сгибание стопы через 3 года после выполнения ахиллопластики составило 19,3 (15,7; 23,3)°, а после рецессии икроножной мышцы – 21,4 (14,8; 23,6)°. Тыльное сгибание стопы с разгибанием I пальца через 3 года после выполнения ахиллопластики составило 11,4 (5,4; 15,8)°, а после рецессии икроножной мышцы – 14,4 (11,3; 19,4)°. При проведении дискриминантного анализа между вариантами удлинения трехглавой мышцы голени были получены значимые различия. Коэффициенты линейных дискриминантов (LD1) для тыльного сгибания стопы = 0,0150; для тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца = 0,1197. Эти данные также подтверждают большую ценность оценки тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца, то есть со стабилизацией суставов предплюсны. Групповые центроиды LD1 для ахиллопластики = -0,140; для рецессии икроножной мышцы = 0,225). График описательного дискриминантного анализа приведен на рисунке 4.39.

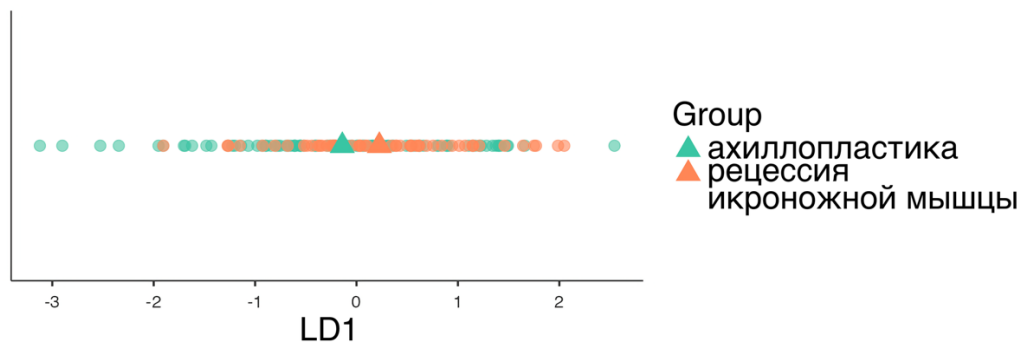


Рисунок 4.39. График описательного дискриминантного анализа (n=120).

Как видно на рисунке 4.39, групповой центроид для ахиллопластики занимает отрицательные значения на дискриминантной функции (LD1), а центроид для рецессии икроножной мышцы занимает положительные значения.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что тыльное сгибание после удлинения трехглавой мышцы голени имеет тенденцию к постепенному снижению в группе пациентов после выполнения ахиллопластики

(медианное значение величины тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца через 3 года после удлинения составляло $11,4^\circ$ по сравнению с значением через 6 месяцев после удлинения – $22,6^\circ$). Ахиллопластика имеет самый большой потенциал коррекции тыльного сгибания стопы по сравнению с другими вариантами удлинения трехглавой мышцы голени. Рецессия икроножной мышцы имеет ограниченный потенциал коррекции (около 15°), однако приводит к более стойкой коррекции тыльного сгибания стопы с течением времени.

4.5 Осложнения после вмешательств, направленных на увеличение мобильности суставов предплюсны

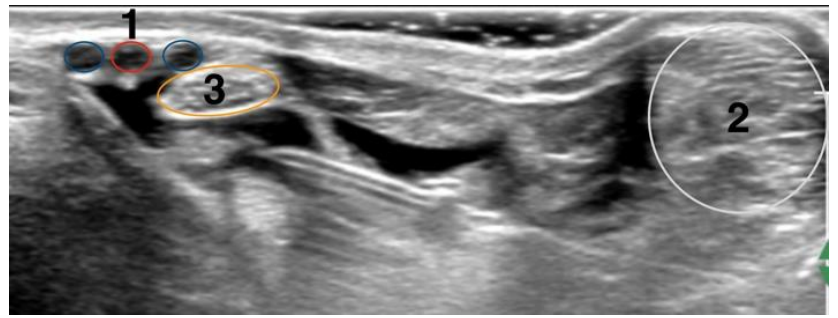
Осложнения после операций, направленных на увеличение мобильности суставов предплюсны по системе Clavien-Dindo-Sink относились к I - III классам.

У одного пациента после резекции таранно-пяточной коалиции и артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость после удаления винта через 2 года после операции развился остеомиелит таранной кости, потребовавший хирургического лечения.

У одной пациентки после резекции таранно-пяточной коалиции развился болевой синдром в области тарзального канала. При детальном обследовании была выявлена гипертрофия задне-медиального отростка таранной кости, приводящая к сдавлению большеберцового нерва. До резекции коалиции болей в этой области у пациентки не было. После резекции коалиции на фоне увеличения мобильности подтаранного сустава развилась клиника компрессионной нейропатии большеберцового нерва. Пациентке была выполнена гидродиссекция большеберцового нерва под УЗ-навигацией (Sol.Ropivacaini 0,5% - 5 ml). После выполнения гидродиссекции большеберцового нерва болевой синдром был купирован. Клинический пример приведен на рисунке 4.40.



А



Б

Рисунок 4.40. Клинический пример синдрома тарзального канала (компрессионной нейропатии большеберцового нерва), развившегося после резекции таранно-пяточной коалиции. А – МРТ заднего отдела стопы. Красным кругом отмечена зона конфликта между задне-медиальным отростком таранной кости и большеберцовым нервом непосредственно над бифуркацией на медиальный и латеральный плантарный нервы; Б – гидродиссекция большеберцового нерва под УЗ-навигацией (1 – большеберцовая артерия и вены, 2 – ахиллово сухожилие, 3 – большеберцовый нерв).

У одного пациента после резекции таранно-пяточной коалиции усилились боли на фоне прогрессирования дегенеративных изменений подтаранного сустава. От артродеза подтаранного сустава пациент отказался.

У трех пациентов после резекции коалиции (одна пяточно-ладьевидная, две таранно-пяточные коалиции) на контрольной КТ в связи с сохранением болевого синдрома была отмечена неполная резекция, потребовавшая повторного вмешательства.

У одного пациента после резекции таранно-пяточной коалиции была отмечена миграция костного воска, потребовавшая его удаления (рисунок 4.41).

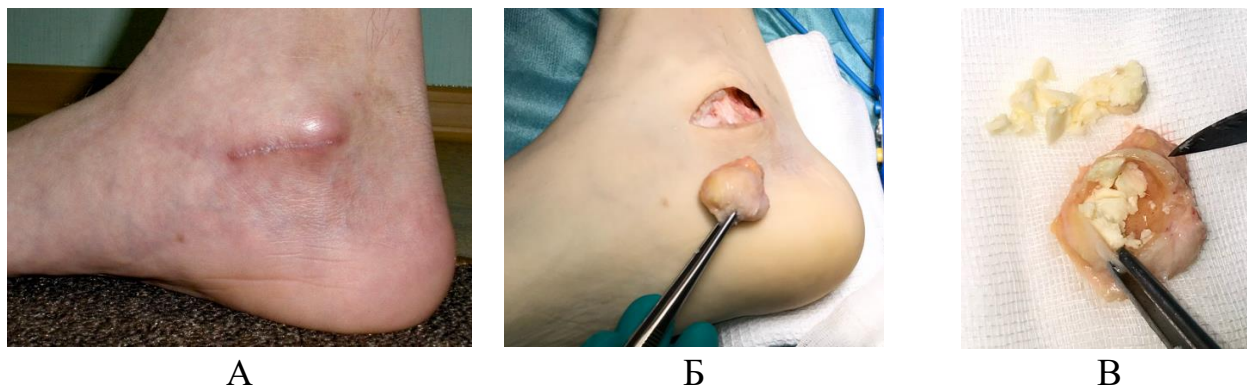


Рисунок 4.41. Миграция костного воска после резекции пяточно-ладьевидной коалиции.

Как можно увидеть на рисунке 4.41, через 6 месяцев после операции у пациента возникла деформация в области резекции коалиции, причиняющая дискомфорт. Пациенту было выполнено удаление образования. После удаления костного воска болевой синдром не беспокоил.

4.6 Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что увеличение движений в суставах предплюсны после устранения причин анатомической ригидности является важным элементом восстановления функции стопы. Выполнение резекции пяточно-ладьевидных и таранно-пяточных коалиций предложенными способами позволяет снизить вероятность повреждения окружающих анатомических структур в 6,5 раз при резекции пяточно-ладьевидных коалиций и снизить вероятность неполной резекции при выполнении резекции таранно-пяточных коалиций в 6 раз. Помимо этого, полученные данные свидетельствуют о сохранении полученной мобильности суставов предплюсны с течением времени. При устранении причин анатомической мобильности в раннем возрасте имеется тенденция к самопроизвольной коррекции деформации стопы. Это свидетельствует о вторичном характере деформации по отношению к ограничению мобильности суставов предплюсны.

При выполнении хирургических вмешательств, направленных на коррекцию укорочения трехглавой мышцы голени, потенциал коррекции тыльного сгибания стопы при рецессии медиальной головки икроножной мышцы составляет в среднем 15° , что значительно ниже потенциала коррекции после выполнения ахиллопластики. С другой стороны, при удлинении трехглавой мышцы голени посредством перкутанной ахиллопластики наблюдается тенденция к снижению величины тыльного сгибания стопы с течением времени. Вероятно, укорочение трехглавой мышцы голени является компенсацией снижения ее силы. При выполнении удлинения трехглавой мышцы голени на дистальном и проксимальном уровне, тенденция к повторной ретракции значительно ниже при удлинении на проксимальном уровне. Это может свидетельствовать о том, что удлинение трехглавой мышцы голени на проксимальном уровне в меньшей степени снижает ее силовые показатели.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ПЛОСКОСТОПИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРТРОЭРЕЗА ПОДТАРАННОГО СУСТАВА

5.1 Артроэрез подтаранного сустава

Артроэрез подтаранного сустава – это хирургическое вмешательство, заключающееся в помещении в область тарзального синуса импланта, который приводит к ограничению мобильности подтаранного сустава. Имплантируемые конструкции могут быть металлическими, пластиковыми и биорезорбируемыми. Основное условие, необходимое для выполнения артроэреза подтаранного сустава – это мобильность суставов предплюсны. В настоящем исследовании при артроэрезе подтаранного сустава были использованы подтаранные импланты, а также блокирующие винты в таранную и пяточную кость.

5.1.1 Артроэрез подтаранного сустава с использованием подтаранных имплантов

Из подтаранных имплантов были использованы импланты типа IV (конические) и II типа (медиальная часть цилиндрическая, латеральная часть коническая) по классификации M. Graham и T. Nikhil [цит. по 163]. Примеры использования разных типов подтаранных имплантов приведены на рисунке 5.1.

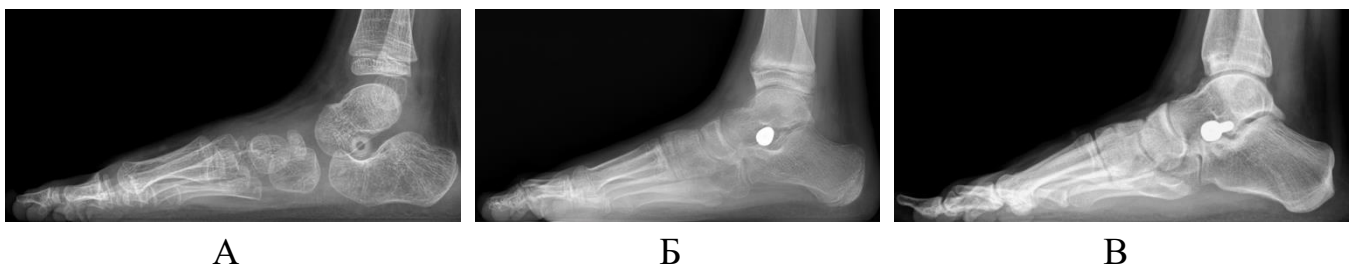


Рисунок 5.1. Примеры использования различных типов подтаранных имплантов. А – конический биорезорбируемый имплант (тип IV); Б – конический металлический имплант (тип IV); В – металлический имплант с переменным диаметром (тип II).

На рисунке 5.1 представлены фото с разными типами имплантов. В настоящем исследовании проводился анализ двух биомеханических типов подтаранных имплантов – импланты, располагающиеся в тарзальном синусе

(различные варианты биodeградируемых, металлических, полиэтиленовых имплантов), и импланты, располагающиеся как в тарзальном синусе, так и в тарзальном канале (импланты с переменным диаметром, у которых широкая часть располагается в тарзальном синусе, а узкая часть – в тарзальном канале).

Для оценки потенциала коррекции деформации стопы при помощи подтаранных имплантов произведен анализ основных клинических и рентгенологических параметров стоп до и после хирургического лечения. Полученные данные по клиническим параметрам приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Изменения основных клинических показателей после проведенного хирургического лечения (подтаранные импланты (n=67))

Клинические показатели	До операции	Время после операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Угол Dahle/°	126,1 (121,6; 131,4)	140,4 (135,8; 144,5)	140,2 (136,6; 143,4)	135,6 (131,1; 139,5)	139,3 (137,8; 140,9)
Индекс Фридланда	24,3 (23,2; 25,7)	26,5 (25,6; 29,5)	27,7 (26,4; 28,9)	27,1 (25,9; 27,9)	26,1 (25,7; 27,6)
Вальгус заднего отдела/°	17,3 (13,5; 19,8)	3,20 (-4,00; 10,3)	4,3 (3,70; 12,4)	10,3 (7,63; 13,6)	10,9 (8,03; 13,9)

Как видно из таблицы 5.1, клинические параметры формы стопы показали улучшение после хирургического лечения (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$). Наименее чувствительным параметром оказался индекс Фридланда – через 3 года после операции статистически значимая разница по сравнению с исходным периодом отсутствовала (post-hoc тест DSCF; $p = 0,078$). Графики изменения основных клинических параметров (LineChart) приведены на рисунке 5.2.

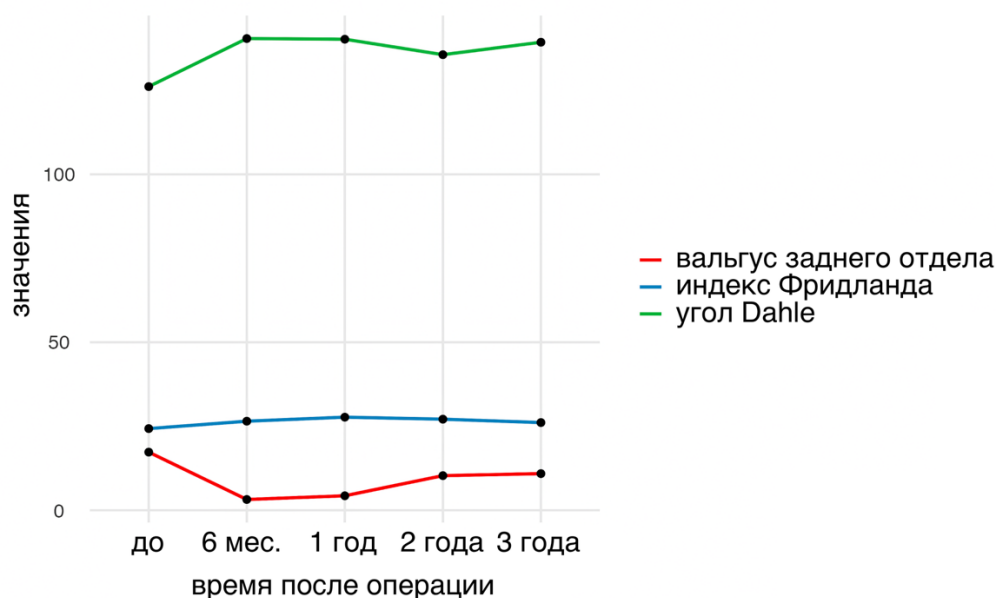


Рисунок 5.2. Линейные графики динамики основных клинических параметров после артроэреза подтаранного сустава имплантом (n=67).

На рисунке 5.2 видно, что максимальную динамику (большой наклон линии на промежутке «до – 6 месяцев») показали следующие параметры: вальгус заднего отдела стопы и угол Dahle. При этом, Q_1 по величине вальгуса из таблицы 5.1 имел отрицательное значение – у части пациентов отмечался варус заднего отдела после артроэреза подтаранного сустава имплантом. Также стоит отметить, что, несмотря на относительное удлинение латеральной колонны после артроэреза подтаранного сустава (за счет уменьшения таранно-пяточной дивергенции), угол приведения переднего отдела не продемонстрировал значимого ухудшения. Данные динамики основных рентгенометрических параметров после артроэреза подтаранного сустава имплантом приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Динамика основных рентгенологических показателей после проведенного хирургического лечения (подтаранные импланты (n=67))

Рентгенологические показатели	До операции	Время после операции			
		6 мес.	1 год	2 года	3 года
Передне-задний угол Meary/°	17,2 (12,0; 22,4)	-0,6 (-6,3; 2,5)	2,4 (-1,7; 7,4)	8,5 (2,6; 11,3)	1,1 (-1,8; 1,4)
Передне-задний угол Kite/°	29,6 (25,9; 34,2)	13,6 (11,5; 18,8)	15,1 (11,6; 19,2)	30,0 (25,2; 32,1)	24,0 (23,2; 26,0)
Угол латерального смещения ладьевидной кости/°	26,1 (19,6; 32,1)	5,2 (1,9; 14,6)	8,2 (4,7; 15,4)	13,5 (7,70; 20,4)	7,9 (3,5; 12,7)
Угол приведения переднего отдела/°	17,9 (14,1; 21,1)	19,4 (18,6; 25,0)	20,0 (18,0; 23,6)	19,3 (18,5; 22,7)	20,6 (19,0; 26,5)
Латеральный угол Kite/°	54,7 (49,7; 59,0)	21,6 (18,3; 34,4)	25,8 (19,3; 38,5)	36,9 (31,1; 50,8)	38,6 (34,9; 51,4)
Латеральный угол Meary/°	29,8 (22,1; 37,6)	10,3 (6,6; 16,0)	9,8 (2,6; 15,1)	12,6 (8,0; 17,4)	15,3 (8,95; 18,5)
Угол наклона пяточной кости/°	10,2 (7,1; 14,0)	13,3 (11,7; 15,6)	15,6 (12,1; 18,1)	14,4 (13,0; 14,8)	16,0 (13,7; 17,3)
Таранно-пяточное соотношение/ %	55,9 (40,7; 59,0)	10,5 (0,7; 13,6)	16,1 (5,3; 24,3)	31,7 (28,0; 41,2)	31,9 (24,7; 38,3)
Таранно-большеберцовый угол/°	48,9 (42,5; 55,9)	67,8 (62,2; 69,9)	64,6 (59,7; 69,1)	65,7 (59,9; 69,8)	63,0 (60,2; 65,0)
Угол продольного свода рентгенологический/°	162,3 (157,1; 168,6)	147,1 (143,6; 149,4)	145,6 (141,1; 149,8)	147,4 (146,1; 152,9)	145,6 (143,8; 149,1)

Как видно из таблицы 5.2, по большинству параметров отмечались значимые различия по сравнению с исходными значениями (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$), исключение – угол приведения переднего отдела. Измерение угла тарзального синуса не выполнялось, так как его расчет сопровождался определенными сложностями – часто подтаранные импланты перекрывали области размещения референтных точек. Графики динамики медианных значений рентгенометрических параметров (LineChart) изображены на рисунке 5.3.

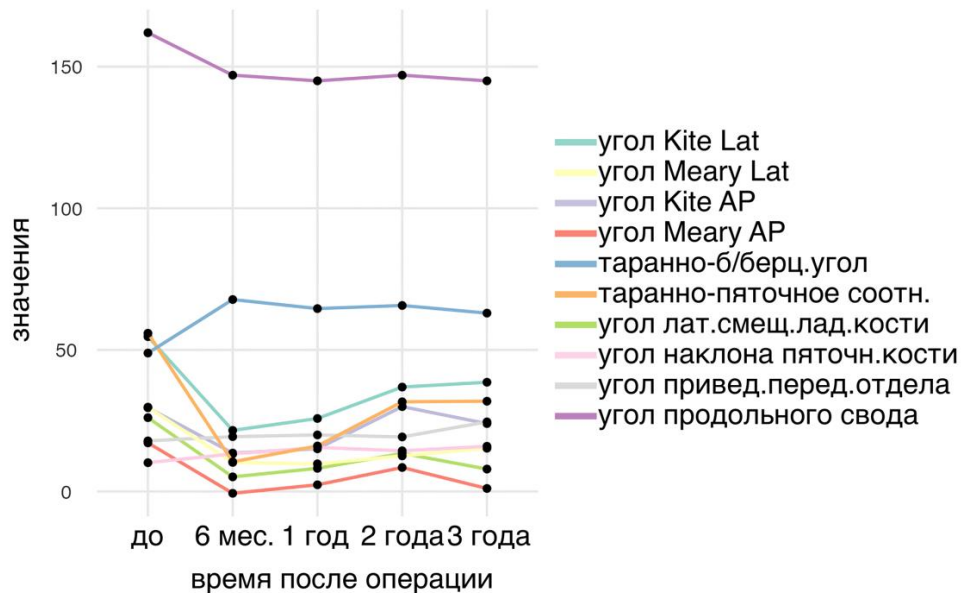


Рисунок 5.3. Линейные графики динамики основных рентгенологических параметров после артроэреза подтаранного сустава имплантом (n=67).

Как можно увидеть из рисунка 5.3, максимальные изменения после операции (большой наклон линий) касались следующих параметров: таранно-большеберцовый угол, угол продольного свода, передне-задний угол Meary, латеральный угол Kite и таранно-пяточное соотношение. При этом, латеральный угол Kite и таранно-пяточное соотношение продемонстрировали максимальные различия через 6 месяцев по сравнению с дооперационным периодом. Эти данные свидетельствуют о значительном потенциале коррекции деформации при использовании подтаранных имплантов. При оценке влияния возраста пациента на величину коррекции деформации, значимых различий получено не было ($r=0,123$; $p>0,05$). У 5 пациентов при использовании подтаранных имплантов была получена гиперкоррекция деформации (рисунок 5.4).

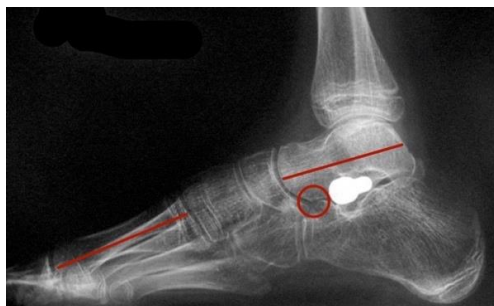


Рисунок 5.4. Гиперкоррекция деформации стопы при использовании подтаранного импланта. Красными линиями отмечены оси таранной и I плюсневой кости. Красным кругом отмечено нулевое таранно-пяточное соотношение.

На рисунке 5.4 видно, что после использования подтаранного импланта сформировалась гиперкоррекция деформации (отрицательный угол Meary, таранно-пяточное соотношение 0%). Это связано с особенностями методики – большинство подтаранных имплантов не фиксируются стабильно в тарзальном синусе. Для удержания импланта чаще всего используется резьба на нем. Чтобы устройство надежно фиксировалось в тарзальном синусе необходимо, чтобы резьба на его поверхности плотно контактировала с таранной и пяточной костью. Часто для удовлетворительной фиксации импланты внедряются в тарзальный синус до стабильного удерживания, при этом подтаранный сустав занимает максимальное положение инверзии, при котором тарзальный синус имеет наибольшие размеры. Соответственно такое положение подтаранного сустава достигается или выбором импланта соответствующего размера или избыточным погружением импланта меньшего размера.

Для оценки мобильности подтаранного сустава был проведен анализ функциональных рентгенограмм до и после удаления подтаранных имплантов. Примеры выполнения функциональных рентгенограмм приведены на рисунке 5.5.

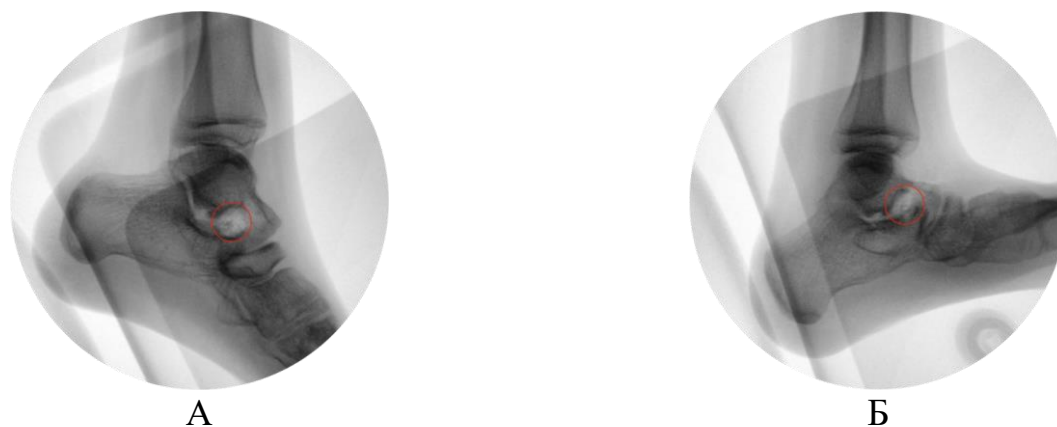


Рисунок 5.5. Функциональные рентгенограммы стоп после удаления подтаранного импланта. А – положение инверзии; Б – положение эверзии. Красным цветом отмечены границы места расположения подтаранного импланта, его ложе.

Как можно увидеть на рисунке 5.5, после удаления подтаранного импланта на рентгенограммах просматривался его контур. Это свидетельствует о наличии импакции - внедрения импланта в таранную и пяточную кость. С целью оценки выраженности ограничений мобильности подтаранного сустава после удаления

подтаранных имплантов было проведено исследование, заключающееся в оценке интраоперационных рентгенометрических показателей, характеризующих положение подтаранного сустава – угла тарзального синуса и таранно-пяточного соотношения при в положении инверзии и эверзии подтаранного сустава (n=28).

Графики полученных значений приведены на рисунке 5.6.

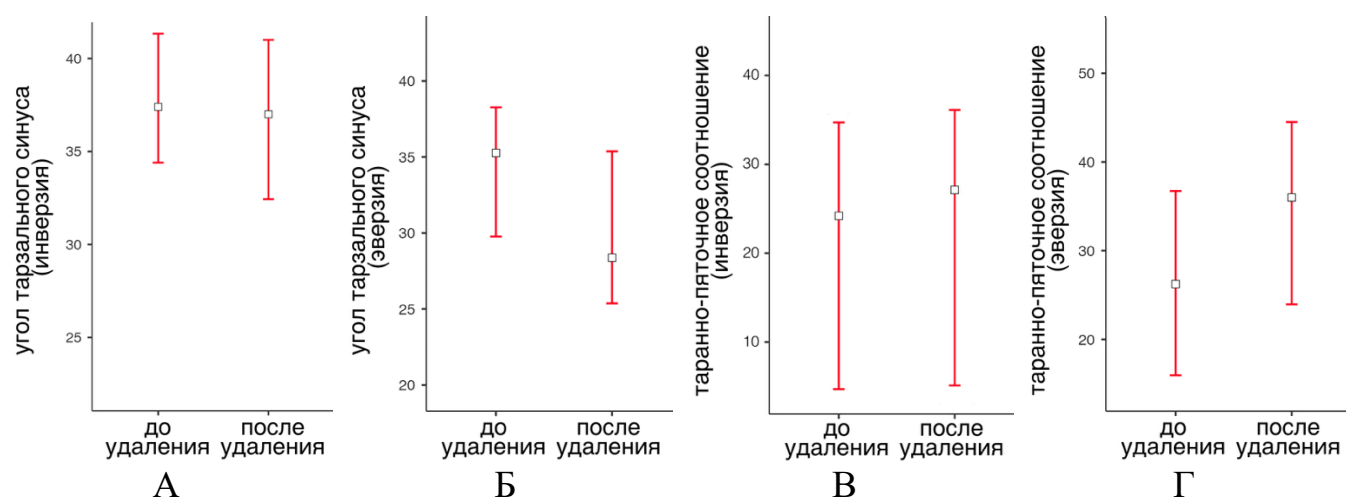


Рисунок 5.6. Графики, отражающие показатели угла тарзального синуса и таранно-пяточного соотношения (медиана [95%CI]) при выполнении функциональной рентгенографии до и после удаления подтаранных имплантов (n=28). А, В – показатели, оцениваемые при пассивной инверзии стопы; Б, Г – показатели, оцениваемые при пассивной эверзии стопы.

Как можно увидеть на рисунке 5.6 А и В, отсутствие значимых различий исследуемых показателей в положении инверзии до и после удаления подтаранных имплантов свидетельствует о том, что подтаранный сустав с имплантом занимал инверзионное положение. С другой стороны, несмотря на то, что различия в показателях подтаранного сустава после удаления импланта в положении эверзии были статистически значимыми ($p < 0,05$; тест Brunner-Munzel), значения 95% доверительного интервала по большей части пересекались. Это свидетельствует о том, что у определенного количества пациентов после удаления подтаранного импланта сохранялось ограничение эверзионного движения. У трех пациентов после установки подтаранных имплантов развился стойкий болевой синдром с выраженными дегенеративными изменениями и ограничением мобильности

суставов предплюсны, что потребовало удаления имплантов и выполнения артродезирующих вмешательств (рисунок 5.7).

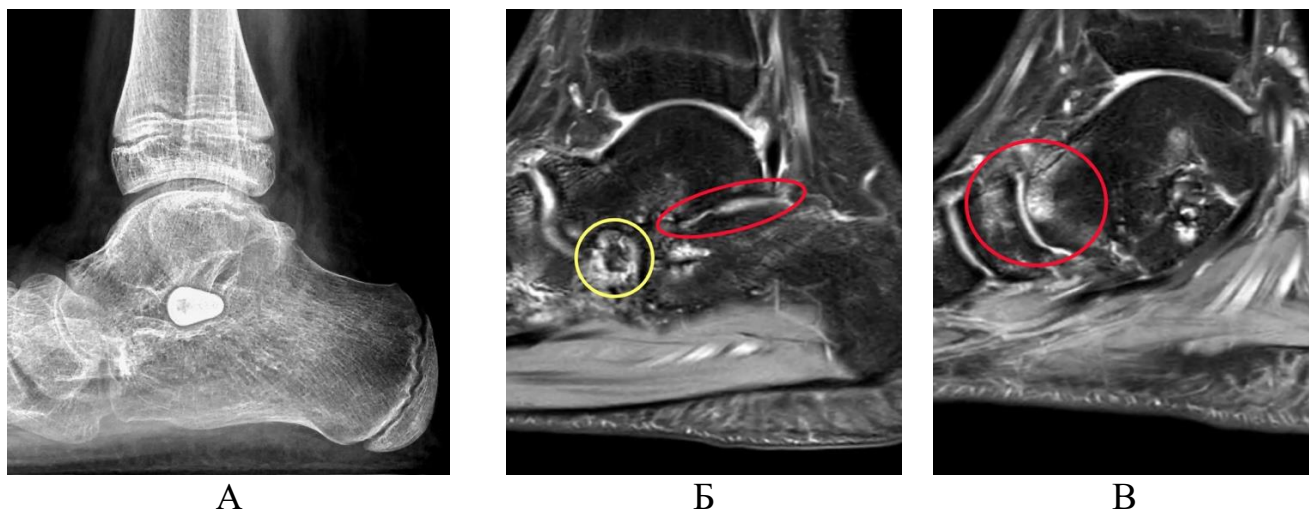


Рисунок 5.7. Дегенеративные изменения суставов предплюсны после установки подтаранного импланта. А – рентгенограмма стопы с подтаранным имплантом; Б, В – МРТ после удаления подтаранного импланта. Кругом желтого цвета отмечено ложе подтаранного импланта, кругами красного цвета отмечены дегенеративные изменения подтаранного и таранно-ладьевидного сустава.

У пациента с исследованиями, представленными на рисунке 5.7, из-за стойкого болевого синдрома было выполнено удаление подтаранного импланта. В связи с сохранением болей пациенту выполнено МРТ, где обнаружены дегенеративные изменения суставов предплюсны, что послужило поводом для выполнения трехсуставного артродеза.

При анализе основных клинико-рентгенометрических критериев на сроках до 3 лет после удаления подтаранных имплантов ($n=31$) значимых различий получено не было (тест Kruskal-Wallis; $p>0,05$), динамику изменений основных клинических и рентгенометрических критериев после удаления имплантов можно увидеть на рисунке 5.8.

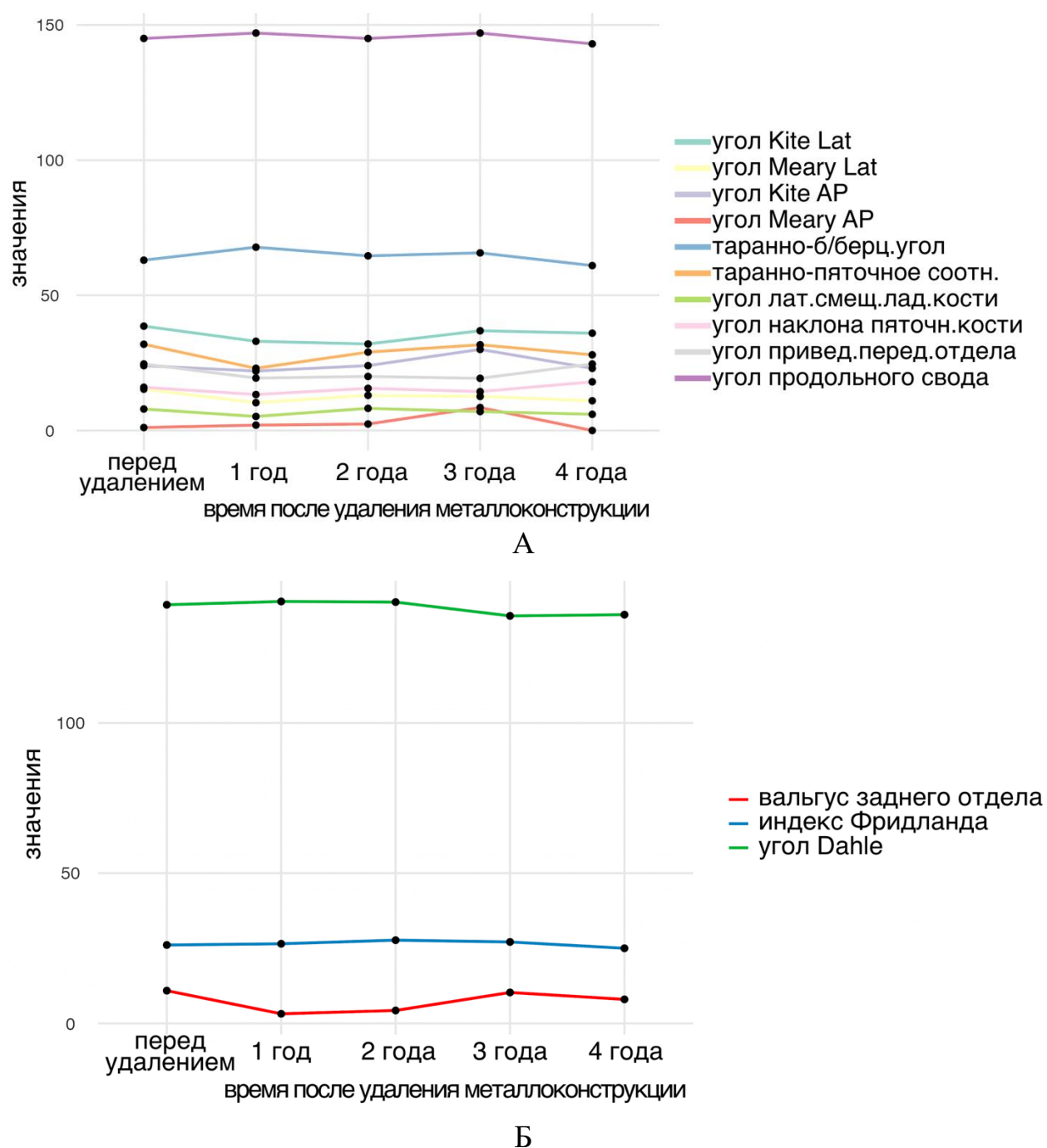


Рисунок 5.8. Динамика изменений основных клинико-рентгенологических параметров стоп у детей на разных сроках после удаления металлоконструкций (n=31). А – изменение рентгенометрических величин; Б – изменение подометрических величин.

На рисунке 5.8 видно, что значимых изменений по исследуемым клиническим и рентгенометрическим критериям после удаления подтаранных имплантов получено не было.

Таким образом, артрорез подтаранного сустава при помощи подтаранных имплантов имеет большой потенциал коррекции деформации стопы. Однако, использование подтаранных имплантов характеризуется высоким риском миграции импланта, ограничением эверзионных движений на уровне подтаранного сустава после удаления импланта, а также развитием дегенеративных изменений суставов предплюсны.

5.1.2 Артрорез подтаранного сустава с использованием винта в пяточную кость

Условия, необходимые для выполнения указанного хирургического вмешательства, заключаются в наличии удовлетворительной мобильности подтаранного сустава. Поскольку основным элементом коррекции деформации является ограничение избыточной эверзии на уровне подтаранного сустава, значимое ограничение мобильности подтаранного сустава является относительным противопоказанием к выполнению данной операции.

Техника установки блокирующего винта в пяточную кость представлена на рисунке 5.9.

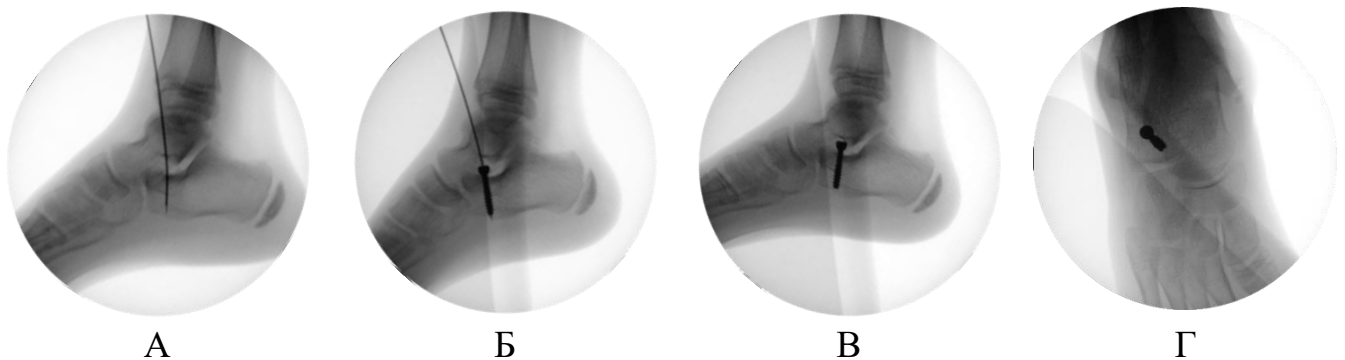


Рисунок 5.9. Этапы постановки блокирующего винта в пяточную кость. А – введение направляющей спицы в пяточную кость; Б – проведение винта по направляющей спице; В, Г – рентген-контроль положения винта в пяточной кости в передне-задней и боковой проекции.

В связи с тем, что пошаговые инструкции постановки блокирующего винта в пяточную кость в доступной литературе не представлены, была выбрана тактика, представленная на рисунке 5.9. При установке блокирующего винта шляпку винта располагалась непосредственно перед передним краем латерального отростка

таранной кости. Подбор длины винта осуществлялся следующим образом: при вертикальном расположении винта от подошвенной кортикальной пластинки переднего отростка пяточной кости его шляпка не должна располагаться проксимальнее переднего края латерального отростка таранной кости (рисунок 5.10).



Рисунок 5.10. Методика подбора длины винта при выполнении артроэреза подтаранного сустава винтом в пяточную кость.

Как видно на рисунке 5.10, максимальная длина винта составляет расстояние от подошвенной кортикальной пластинки переднего отростка пяточной кости до основания-середины латерального отростка таранной кости.

Для оценки степени коррекции деформации стопы после артроэреза подтаранного сустава винтом в пяточную кость проведен анализ изменений основных рентгенологических параметров стоп у детей. Полученные данные приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Изменения основных рентгенологических показателей после проведенного хирургического лечения (блокирующий винт в пяточную кость (n=53))

Рентгенологические показатели	До операции	Срок после операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Передне-задний угол Meary/°	14,9 (11,8; 19,5)	9,5 (5,3; 16,7)	10,1 (3,7; 12,4)	4,2 (0,2; 15,4)	8,1 (2,9; 12,7)
Передне-задний угол Kite/°	31,6 (26,7; 37,9)	34,4 (25,9; 39,6)	26,5 (23,3; 37,5)	29,7 (23,7; 37,9)	29,7 (23,7; 37,9)
Угол латерального смещения ладьевидной кости/°	29,4 (20,8; 38,9)	24,1 (19,1; 32,6)	21,0 (10,1; 27,7)	14,4 (11,3; 31,1)	21,9 (14,6; 30,7)
Угол приведения переднего отдела/°	19,8 (17,5; 24,8)	20,8 (18,9; 29,2)	20,1 (19,1; 27,8)	21,5 (19,3; 27,1)	20,8 (18,2; 23,9)
Латеральный угол Kite/°	52,4 (50,0; 55,1)	46,3 (36,1; 51,7)	45,9 (44,5; 49, 9)	43,9 (40,5; 46,2)	45,1 (42,1; 56,0)
Латеральный угол Meary/°	29,6 (19,2; 32,6)	15,7 (11,8; 20,70)	16,2 (9,7; 22,2)	13,9 (8,0; 16,2)	13,7 (11,0; 17,2)
Угол наклона пяточной кости/°	9,0 (6,3; 14,1)	10,1 (5,6; 18,4)	15,1 (11,2; 20,8)	10,9 (8,5; 17,3)	13,7 (8,7; 18,3)
Таранно-пяточное соотношение/ %	52,2 (47,3; 58,3)	37,2 (31,0; 50,4)	30,0 (24,4; 45,8)	33,1 (25,4; 41,2)	31,8 (24,6; 44,0)
Таранно-большеберцовый угол/°	52,2 (42,5; 57,2)	58,1 (47,4; 61,5)	61,7 (53,3; 66,0)	58,9 (51,5; 61,4)	57,7 (55,3; 62,7)
Угол продольного свода рентгенологический/°	155,7 (150,8; 161,1)	149,4 (141,0; 156,8)	148,1 (139,9; 150,8)	148,8 (141,2; 152,3)	148,4 (142,5; 153,5)
Угол тарзального синуса/°	13,1 (10,4; 16,9)	20,4 (15,8; 22,2)	21,0 (13,6; 31,8)	23,0 (15,0; 31,3)	19,7 (13,6; 37,6)

Как можно отметить из таблицы 5.3, значимые различия отмечены по большинству рентгенологических параметров по сравнению с показателями «до операции» (тест Kruskal-Wallis; $p > 0,05$). Однако стоит отметить, что максимальная выраженность эффекта по большинству показателей наблюдалась через 1 – 2 года после операции. При проведении post-hoc теста по параметру передне-задний угол Kite, значимые различия были отмечены лишь во временном промежутке «до операции – 1 год»; DSCF тест, $p < 0,05$). Также, при дальнейшем наблюдении отмечалось незначительное снижение коррекции деформации по ряду показателей (передне-задний угол Meary, угол латерального смещения ладьевидной кости и угол тарзального синуса), однако эти данные не имели статистически значимых

различий. Динамика изменений медианы основных рентгенологических параметров стоп после выполнения артроэреза подтаранного сустава винтом в пяточную кость приведена на рисунке 5.11.

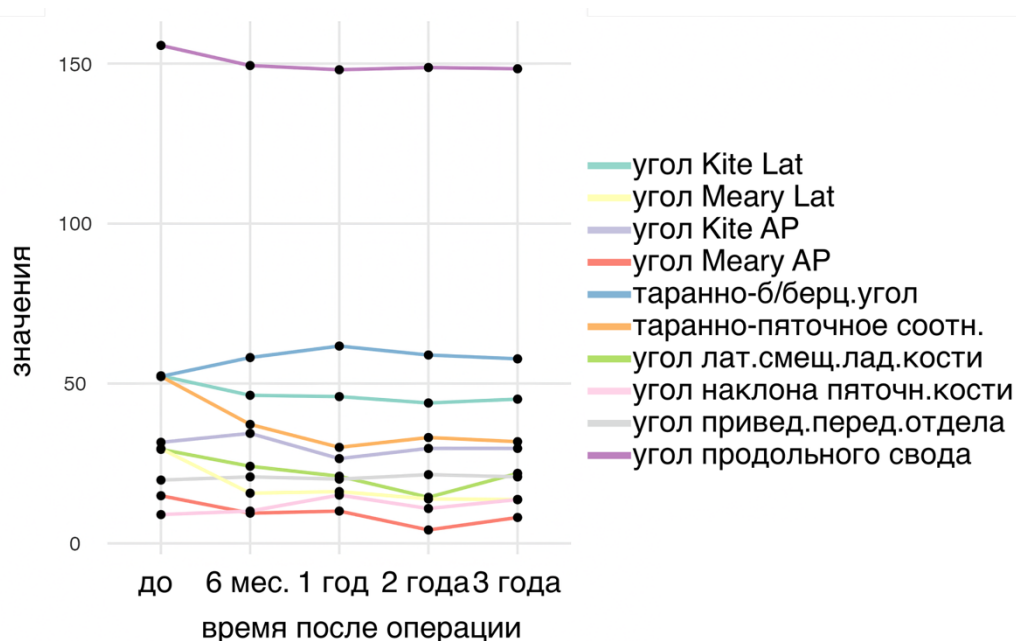


Рисунок 5.11. Динамика изменений основных рентгенометрических критериев на разных сроках после артроэреза подтаранного сустава винтом в пяточную кость (n=53).

Как можно отметить из графика на рисунке 5.11, наиболее значимые изменения при сравнении результатов до операции и в разные сроки наблюдения характеризовались различиями по латеральному углу Meary, таранно-пяточному соотношению и углу тарзального синуса. Наиболее значимые изменения угла продольного свода были отмечены лишь через 1 год после операции. Наименее значимые различия касались изменений угла приведения переднего отдела стопы. Таким образом, наиболее выраженное влияние на рентгенологические параметры плоскостопия отмечались через 2 года после операции. Наиболее чувствительными к изменениям после проведенного хирургического лечения являются латеральный угол Meary, таранно-пяточное соотношение и угол тарзального синуса.

Для оценки изменений подометрических показателей произведено сопоставление клинических параметров плоскостопия на разных сроках после хирургического лечения. Полученные данные приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Изменения основных клинических показателей после проведенного хирургического лечения (блокирующий винт в пяточную кость (n=53))

Клинические показатели	До операции	Срок после операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Угол Dahle/°	128,40 (117,20; 133,10)	125,60 (122,45; 129, 48)	128,55 (122,27; 132,45)	129,40 (125,20; 136,50)	128,40 (120,55; 132,00)
Индекс Фридланда	24,60 (22,60; 26,70)	25,95 (24,68; 27,33)	27,55 (26,95; 28,68)	26,40 (25,53; 27,43)	25,80 (23,90; 27,00)
Вальгус заднего отдела/°	17,70 (12,10; 18,75)	10,35 (6,68; 12,45)	4,25 (0; 14,83)	8,55 (1,13; 11,60)	8,70 (6,70; 12,15)

Как можно отметить из таблицы 5.4, клинические изменения после выполнения данного варианта артроэреза подтаранного сустава в большей степени касались изменений величины вальгуса заднего отдела и подометрического индекса Фридланда (тест Kruskal-Wallis; $p>0,05$). При проведении post-hoc теста на промежутке до операции-6 месяцев значимые различия по параметрам: угол Dahle, индекс Фридланда отсутствовали; DSCF тест; $p=0,053$ и $p=0,071$ соответственно).

Динамика значимых клинических изменений после выполнения артроэреза подтаранного сустава винтом в пяточную кость приведена на рисунке 5.12.

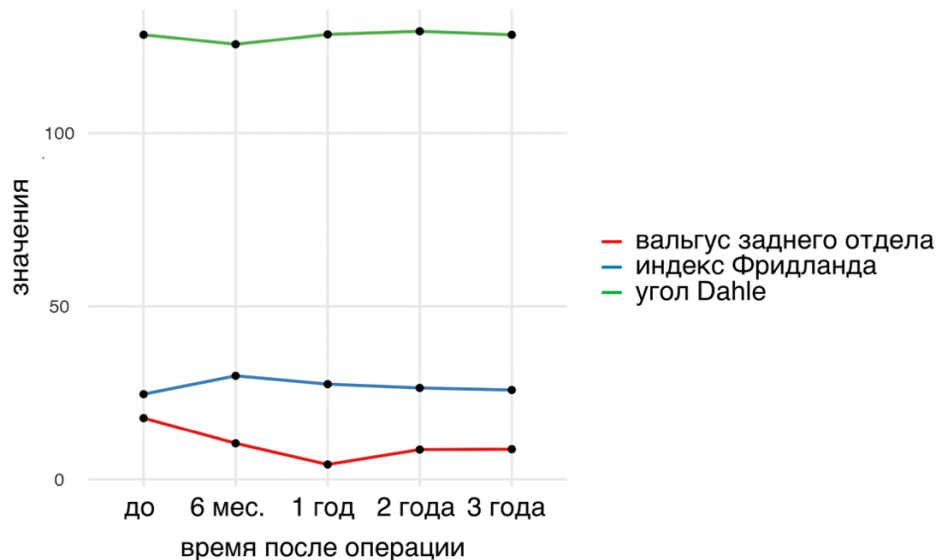


Рисунок 5.12. Динамика изменений основных подометрических величин после артроэреза подтаранного сустава винтом в пяточную кость (n=53).

На рисунке 5.12 продемонстрировано, что после проведенного хирургического вмешательства отмечалось улучшение по всем подометрическим критериям, однако, наиболее выраженные изменения касались вальгуса заднего отдела и подометрического индекса Фридланда. Пик коррекции деформаций стоп

приходится на сроки наблюдения от 1 до 2 лет. Также стоит отметить некоторое ухудшение данных подометрии через 1 год после проведенного хирургического лечения, однако указанные изменения не имели статистической значимости (Т-критерий Wilcoxon; $p > 0,05$). При оценке влияния возраста пациента на величину коррекции деформации, была отмечена слабая положительная корреляционная связь ($r = 0,322$; $p = 0,03$).

Для оценки механического блокирующего влияния винта на подтаранный сустав было проведено исследование, заключающееся в оценке изменения угла тарзального синуса при максимальном эверзионном положении стопы до и после введения блокирующего винта в пяточную кость. Данное исследование проведено 18 пациентам/ 32 стопы. Результаты исследования представлены на рисунке 5.13.

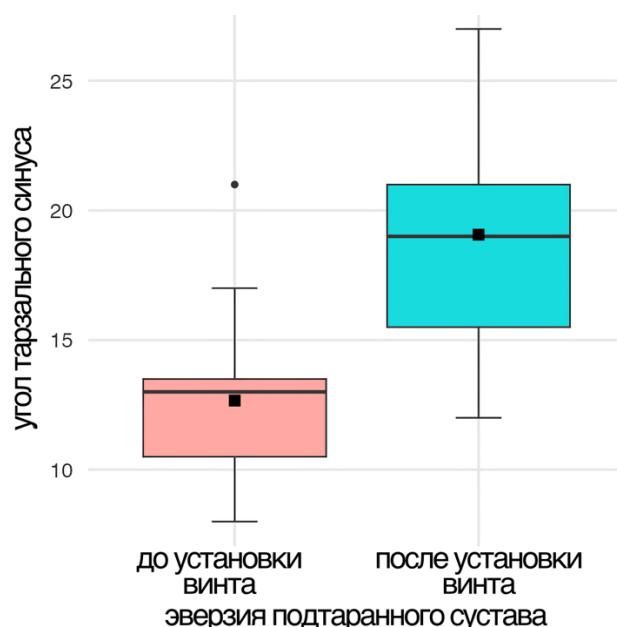


Рисунок 5.13. График изменения угла тарзального синуса до и после постановки блокирующего винта в пяточную кость при эверзионном положении подтаранного сустава (n=23).

Как можно увидеть из рисунка 5.13 – несмотря на большой размах значений при эверзии подтаранного сустава после постановки блокирующего винта, медианы значений угла тарзального синуса не имеют больших различий. Однако, значение Т-критерия знаковых рангов Wilcoxon свидетельствовало о значимой разнице показаний ($p = 0,003$). Данный факт объясняется тем, что большинство значений угла тарзального синуса после установки блокирующего винта

характеризовалось положительными рангами, то есть, постановка блокирующего винта в пяточную кость приводила к ограничению эверзии, но степень этого ограничения не являлась существенной, что демонстрирует рисунок 5.13. Пример сохранения пассивной мобильности подтаранного сустава после артроэреза блокирующим винтом приведен на рисунке 5.14.

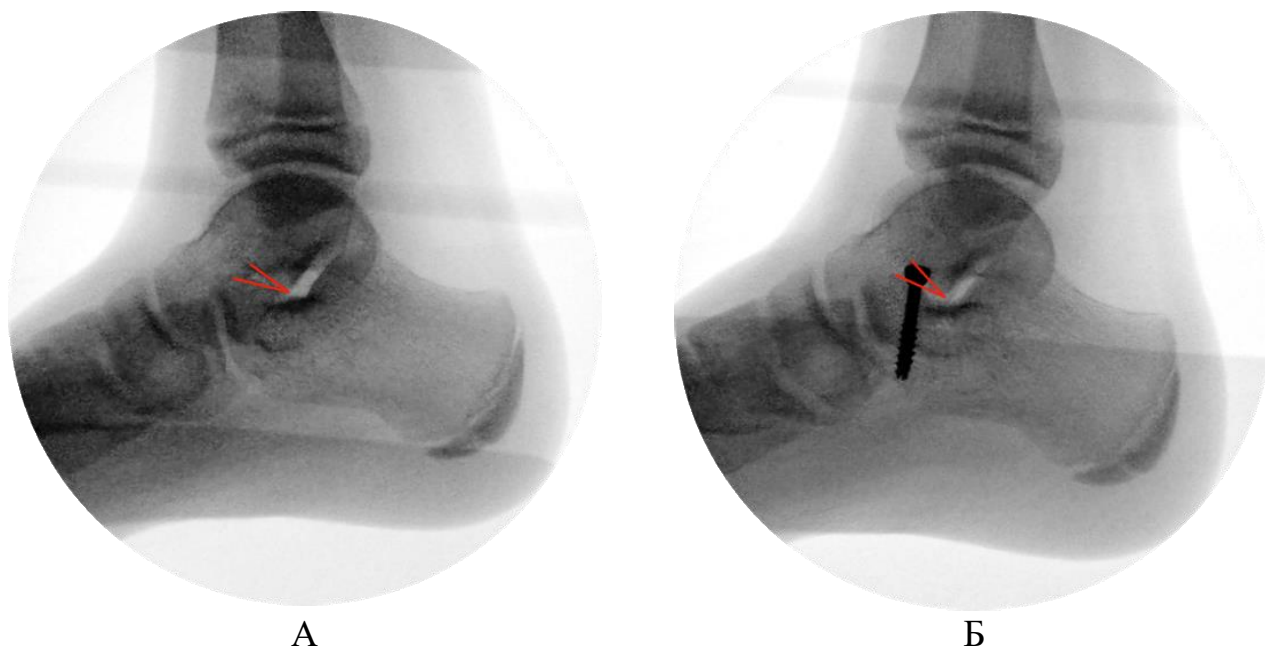


Рисунок 5.14. Пассивная мобильность подтаранного сустава при постановке блокирующего винта в пяточную кость. А - эверзия до постановки блокирующего винта; Б – эверзия после постановки блокирующего винта.

Таким образом, механизм действия блокирующего винта в пяточную кость связан не только с механическим блокированием в области шляпки винта. Вероятнее всего, механизм действия данного варианта артроэреза подтаранного сустава также связан с раздражением проприоцептивных нервных окончаний в области тарзального синуса. Клинический пример коррекции деформации стопы при отсутствии механического блокирования пассивной эверзии приведен на рисунке 5.15.



Рисунок 5.15. Коррекция латерального угла Меагу у пациента с плоскостопием через 1 год после операции. А – соотношения в суставах предплюсны до лечения; Б – коррекция латерального угла Меагу через 6 месяцев после операции. На круглом флюорографическом изображении отмечена полная пассивная интраоперационная эверзия после постановки блокирующего винта.

Интраоперационно во время установки винта в пяточную кость и рентгенологической оценки величины коррекции при пассивной эверзии стопы было отмечено, что глубина вкручивания винта в пяточную кость не оказывала значимого влияния на степень ограничения пассивной эверзии стопы. При анализе интраоперационных рентгенограмм было отмечено, что степень коррекции была постоянной вне зависимости от глубины вкручивания винта. Исходя из анатомических особенностей данной зоны, расположение шляпки винта непосредственно кпереди от латерального отростка таранной кости обусловлено высоким риском повреждения латерального отростка и шейки таранной кости при вертикальном проведении винта (рисунок 5.16 А, Б), в связи с этим, траектория введения винта чаще всего располагается под углом для минимизации повреждения таранной кости (рисунок 5.16 В).

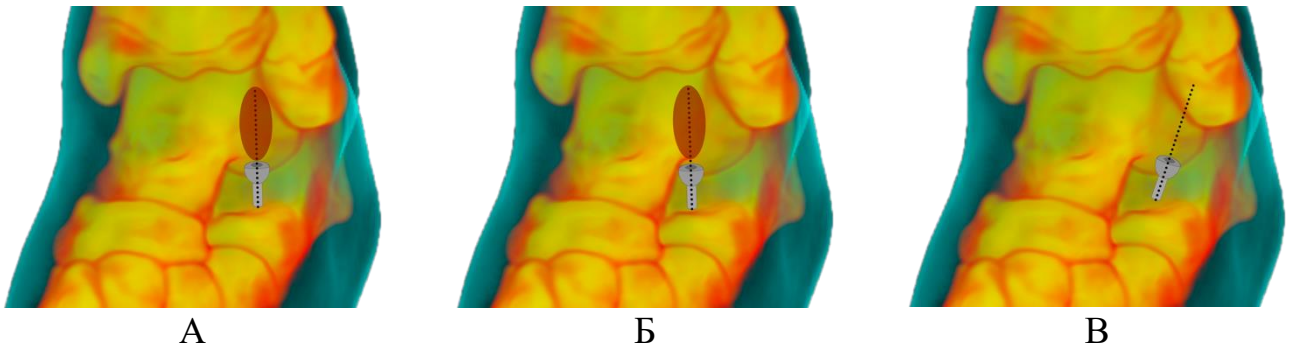


Рисунок 5.16. Схематичные варианты расположения винта кпереди от латерального отростка таранной кости А – вертикальное расположение винта; Б – вертикальное расположение винта по латеральному краю шейки таранной кости; В – наклонное расположение винта. Черной пунктирной линией изображена траектория проведения направляющей спицы и установки винта, красным цветом отмечена область возможного повреждения таранной кости при вертикальном варианте установки винта.

При попытке расположить шляпку винта непосредственно кпереди от латерального отростка таранной кости и вертикальной траектории проведения возможно повреждение блока таранной кости (рисунок 5.16А) или шейки таранной кости (рисунок 5.16Б). При проведении винта под углом к пяточной кости во фронтальной плоскости (рисунок 5.16В), риск повреждения таранной кости снижается.

Как можно увидеть из схем на рисунке 5.16, в большинстве случаев траектория проведения винта в пяточную кость проходит под углом к пяточной кости во фронтальной плоскости, поскольку при попытке расположении винта, как изображено на рисунке 5.16А, Б, направляющая спица должна проходить через латеральный край блока или шейки таранной кости. В некоторых случаях такой вариант проведения направляющей спицы возможен при достижении выведения стопы в максимальное положение инверзии, однако, мобильность подтаранного сустава не всегда позволяет вертикально располагать направляющую спицу. При анализе полученных интраоперационных рентгенометрических данных было выявлено, что в большинстве случаев винт располагался не вертикально во фронтальной плоскости, а под углом, а степень коррекции в первую очередь

обусловлена выбором точки введения винта в пяточную кость, а не глубиной его вкручивания, поскольку при пассивной эверзии стопы передний край латерального отростка таранной кости не всегда контактирует со шляпкой винта, а чаще всего с частью винта в области введения в пяточную кость. Схематичное изображение выявленных особенностей приведено на рисунке 5.17.

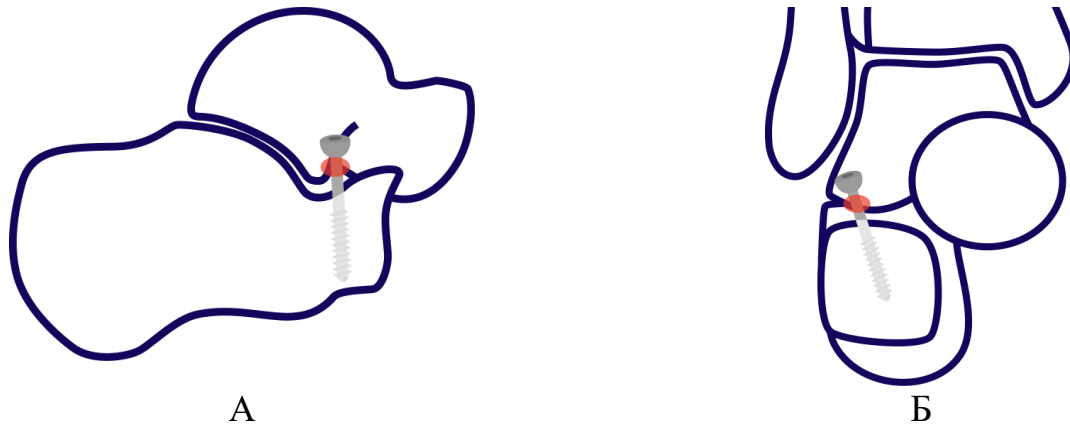


Рисунок 5.17. Схематичное расположение области контакта винта с латеральным отростком таранной кости (отмечено красным цветом) на боковой (А) и прямой (Б) проекции.

Как можно увидеть из рисунка 5.17, объяснением полученных данных, а именно – отсутствие связи между величиной коррекции деформации и глубиной вкручивания винта, является то, что винт контактирует с передним краем латерального отростка пяточной кости не в области шляпки, а в области введения винта в пяточную кость. Полученные данные являются важным элементом планирования хирургического вмешательства, поскольку величина коррекции деформации стопы зависит от точки введения винта в пяточную кость.

Для оценки вариантов расположения блокирующего винта в пяточной кости проведено сравнительное исследование, заключающееся в анализе влияния расположения винта на основные клинико-рентгенологические характеристики plano-вальгусной деформации стопы. При этом, оценивалось взаимное расположение шляпки винта по отношению к латеральному отростку таранной кости (рисунок 5.18).

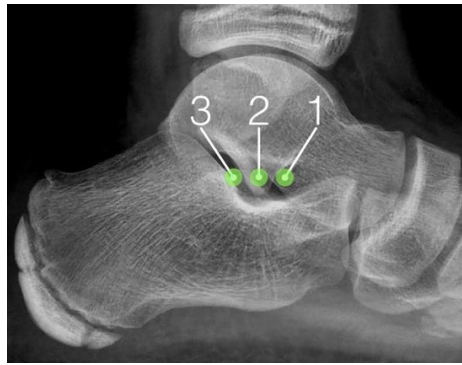


Рисунок 5.18. Схема оценки расположения шляпки винта по отношению к латеральному отростку пяточной кости: 1 – кпереди от латерального отростка, 2 – на уровне латерального отростка, 3 – позади от латерального отростка.

Также производилась оценка угла наклона винта по отношению к пяточной кости (рисунок 5.19).

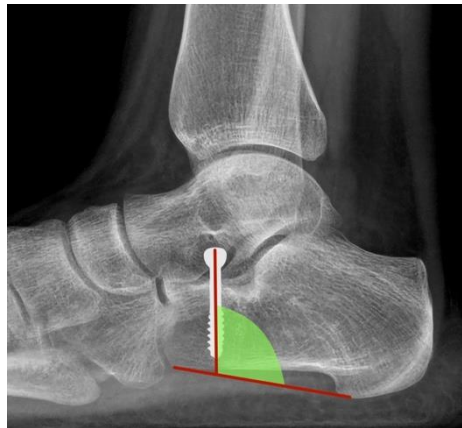


Рисунок 5.19. Схема определения угла наклона винта в пяточной кости.

Угол наклона винта в пяточной кости строился между осевой линией винта и линией наклона пяточной кости - соединением двух нижних точек пяточной кости в области бугра и переднего отростка (рисунок 5.19).

Данные корреляционных связей между особенностями расположения винта в пяточной кости и основными клинико-рентгенологическими критериями плоскостопия приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Корреляция Spearman между основными клинико-рентгенометрическими показателями и вариантами расположения блокирующего винта в пяточной кости (n=53)

Клинико-рентгенометрические показатели	Расположение винта	Угол наклона винта
	Величина корреляционной связи	
Передне-задний угол Meary	0,298*	0,377**
Передне-задний угол Kite/	0,133	-0,001
Угол латерального смещения ладьевидной кости	0,228	0,237
Угол приведения переднего отдела	0,027	-0,213
Латеральный угол Kite	0,223	0,472**
Латеральный угол Meary	0,121	-0,097
Угол наклона пяточной кости	0,072	0,403**
Таранно-пяточное соотношение	0,128	0,107
Таранно-большеберцовый угол	-0,023	0,035
Угол продольного свода рентгенологический	-0,018	-0,372**
Угол тарзального синуса	-0,497**	-0,078
Угол продольного свода клинический	-0,246	0,091
Подометрический индекс Фридланда	-0,171	0,111
Вальгус заднего отдела	0,213	0,368*
*- корреляция значима на уровне 0,05; ** - корреляция значима на уровне 0,01		

Как можно увидеть из таблицы 5.5, отмечалась значимая положительная слабая связь между расположением винта и передне-задним углом Meary, а также отрицательная слабая связь с клиническим углом продольного свода и отрицательная умеренная связь с углом тарзального синуса. Угол наклона винта в пяточной кости имел большее количество значимых связей: умеренные положительные связи с передне-задним углом Meary, латеральный угол Kite, углом наклона пяточной кости и вальгусом заднего отдела, а также умеренная отрицательная связь с рентгенологическим углом продольного свода. При использовании однофакторного дисперсионного анализа (Kruskal-Wallis) также отмечено значимое влияние положения винта на передне-задний угол Meary ($\chi^2=6,337$; $p=0,042$) и угол тарзального синуса ($\chi^2=13,608$; $p=0,001$).

Для оценки варианта и выраженности влияния положения винта на угол тарзального синуса, была составлена регрессионная модель (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Коэффициенты регрессионной модели «расположение винта – угол тарзального синуса» (n=53)

Предиктор	Вес	SE	p
Константа	32,6	2,78	<0,001
положение винта по отношению к латеральному отростку:			
на уровне – перед	-12,3	3,40	<0,001
сзади – перед	-18,3	8,79	0,042
сзади – на уровне	-6,00	8,56	0,487

Анализ данных таблицы 5.6 показал, что максимальное влияние оказывало положение винта перед латеральным отростком таранной кости. Для оценки типа влияния построен график предельных средних (рисунок 5.20).

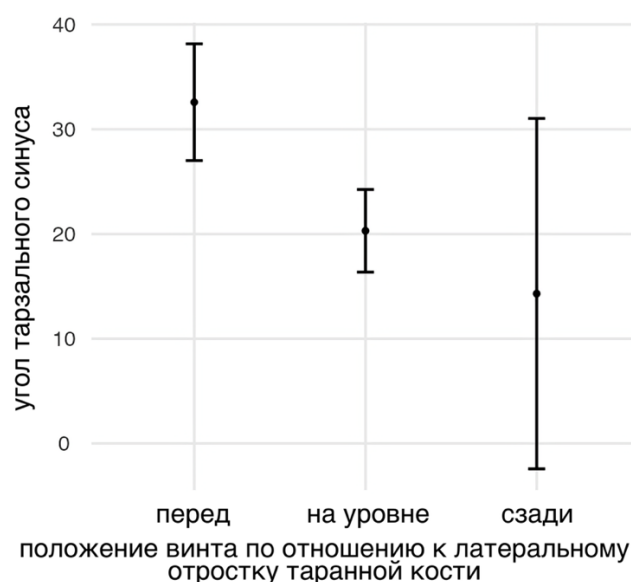


Рисунок 5.20. График предельных средних регрессионной модели между углом тарзального синуса и расположением шляпки винта (n=53).

Как можно отметить из графика, изображенного на рисунке 5.20, наибольший потенциал коррекции деформации стопы имело расположение шляпки винта кпереди от латерального отростка таранной кости. Примеры влияния различных вариантов расположения винта на степень коррекции приведены на рисунке 5.21.



А



Б



В

Рисунок 5.21. Клинические примеры влияния варианта расположения винта. А – позади от латерального отростка; Б – на уровне латерального отростка; В – кпереди от латерального отростка пяточной кости.

Также, помимо влияния на коррекцию расположения винта в боковой проекции, как видно на рисунке 5.21, было отмечено, что более латеральное расположение винта на передне-задней проекции обратно пропорционально величине коррекции. Клинические примеры различных вариантов расположения винта в пяточной кости на передне-задних рентгенограммах приведены на рисунке 5.22.



А



Б

Рисунок 5.22. Клинические примеры более латерального (А) и более медиального (Б) расположения винта в пяточной кости на передне-задних рентгенограммах.

На рисунке 5.22 видно, при более латеральном расположении винта в пяточной кости контакта между металлоконструкцией и латеральным отростком таранной кости не происходит, что обуславливает меньший потенциал коррекции деформации. Для имплантации винта с упором в передний край латерального отростка таранной кости необходим наклон винта в плоскости переднего края латерального отростка (рисунок 5.23).

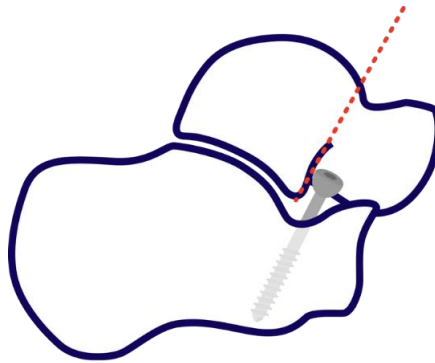


Рисунок 5.23. Наклон винта в плоскости переднего края латерального отростка таранной кости. Линией красного цвета отмечена плоскость переднего края латерального отростка таранной кости.

Как можно увидеть на рисунке 5.23, для минимизации повреждения латерального отростка при проведении винта, он ориентируется в плоскости переднего края таранной кости. По данным таблицы 5.6 и рисунка 5.20 смещение шляпки винта кзади от латерального отростка таранной кости характеризуется уменьшением величины коррекции. С другой стороны, влияние угла наклона винта показало разнонаправленное влияние на величину коррекции. Графики регрессионных моделей, характеризующих разнонаправленное влияние угла наклона винта на величину ($n=53$) приведены на рисунке 5.24.

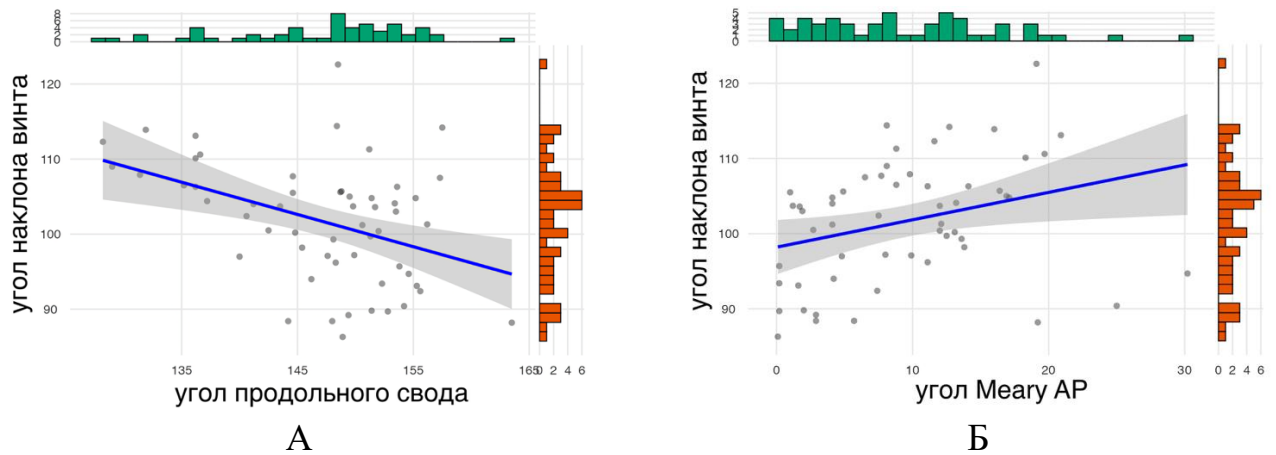


Рисунок 5.24. Графики линейной регрессионной модели, характеризующие влияние угла наклона винта на угол продольного свода (А); передне-задний угол Meary (Б) (n=53).

На графике рисунка 5.24А, с одной стороны, величина угла наклона винта в пяточной кости обратно пропорциональна углу продольного свода, то есть, чем больше угол наклона, тем больше коррекция деформации. С другой стороны, величина наклона винта прямо пропорциональна передне-заднему углу Meary, то есть, чем больше угол наклона, тем меньше коррекция деформации (рисунок 5.24Б). При анализе полученных данных было определено, что эти взаимоисключающие особенности связаны с расположением винта по отношению к латеральному отростку в передне-задней и боковой проекции: у части пациентов винт был латеральнее таранной кости, у части - впереди от латерального отростка таранной кости (рисунок 5.25).

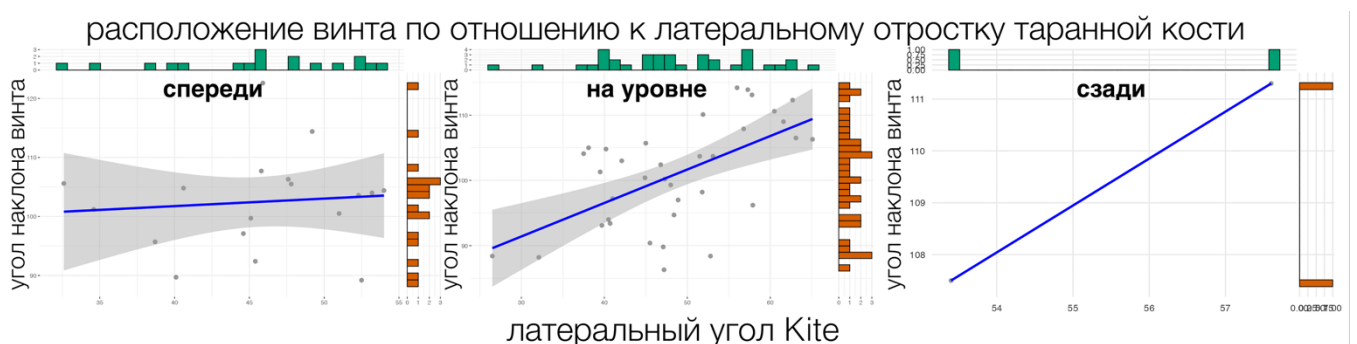


Рисунок 5.25. Графики регрессионных моделей между углом наклона винта и латеральным углом Kite при разделении по расположению винта (n=53).

Как можно увидеть на рисунке 5.25, тренды на ухудшение деформации с увеличением угла наклона винта возникают при его расположении на уровне

латерального отростка таранной кости, т.е. в более латеральном положении на передне-задних рентгенограммах. В случаях, когда винт располагается кпереди от латерального отростка (более медиальное положение на передне-задних рентгенограммах), эти тренды отсутствуют.

Исходя из полученных данных, оптимальным вариантом расположения винта в пяточной кости будет его установка таким образом, чтобы шляпка винта находилась кпереди от латерального отростка таранной кости как на боковой, так и на передне-задней рентгенограмме. Точка входа винта в пяточную кость располагается кпереди от латерального отростка таранной кости и определяет величину коррекции деформации - чем больше точка входа смещена кпереди, тем меньше коррекция деформации. Для имплантации винта кпереди от латерального отростка во фронтальной плоскости требуется его наклон в сагиттальной плоскости, соответствующий плоскости переднего края латерального отростка таранной кости. Схема корректной установки винта изображена на рисунке 5.26.



Рисунок 5.26. Планирование установки винта в пяточную кость. Зеленым цветом отмечены оптимальные точки установки винта. А – на боковой рентгенограмме; Б – на передне-задней рентгенограмме.

Как можно увидеть из рисунка 5.26, при проведении навигационной спицы для установки винта, ее можно располагать параллельно переднему краю латерального отростка таранной кости на боковой рентгенограмме и кпереди от переднего края латерального отростка таранной кости на передне-задней рентгенограмме.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что положение винта в пяточной кости оказывает влияние на степень коррекции деформации стопы. Наибольшим корригирующим потенциалом обладает вариант имплантации винта в пяточную кость, при котором шляпка винта будет располагаться перед латеральным отростком таранной кости в сагиттальной и горизонтальной плоскости. Величина коррекции деформации определяется точкой входа в пяточную кость, а не глубиной его имплантации.

Для оценки динамики изменений основных клинических и рентгенологических параметров стоп после удаления винта из пяточной кости проведен анализ изменений на сроках до 4 лет. Данные изменений клинко-рентгенологических параметров приведены на рисунке 5.27.

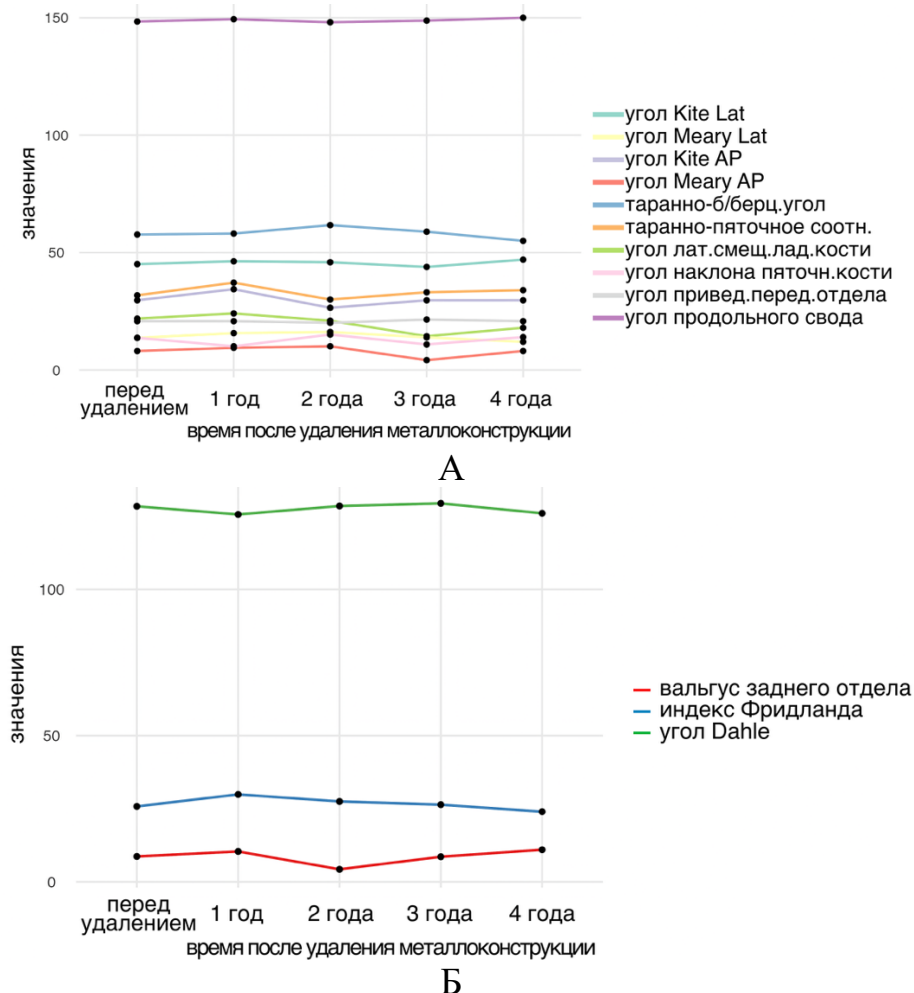


Рисунок 5.27. Динамика изменений основных клинко-рентгенологических параметров стоп у детей на разных сроках после удаления металлоконструкций (n=46). А – изменение рентгенометрических величин; Б – изменение подометрических величин.

На рисунке 5.27 показано, что по большинству клинических и рентгенологических показателей отмечалось уменьшение степени коррекции деформации стоп. Однако, данные изменения не носили статистически значимых различий (тест Kruskal-Wallis; $p > 0,05$). Тем не менее, можно отметить планомерное незначительное снижение коррекции деформаций стоп после удаления металлоконструкции. Наибольшую динамику изменений параметров после удаления металлоконструкций демонстрировала величина тыльного сгибания стоп.

5.1.3 Артрорез подтаранного сустава с использованием винта в таранной кости

Условия, необходимые для установки блокирующего винта в таранную кость, не отличаются от условий для установки винта в пяточную кость и заключаются в удовлетворительной мобильности подтаранного сустава. Максимальная пассивная инверзия стопы является пределом коррекции при выполнении артрореза подтаранного сустава. Этапы установки блокирующего винта в таранную кость представлены на рисунке 5.28.

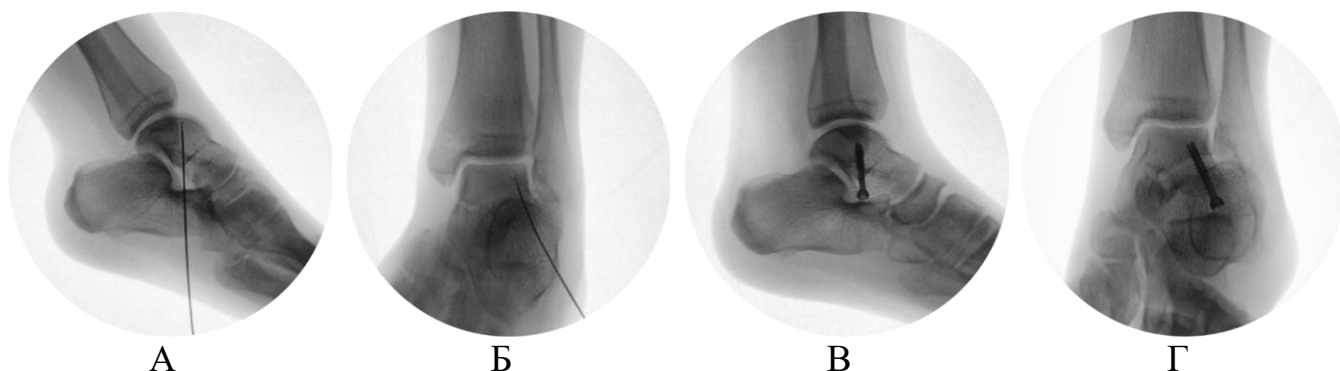


Рисунок 5.28. Методика установки блокирующего винта в таранную кость. А и Б – проведение спицы; В и Г – установка винта.

На рисунке 5.28 видно, что спица проводится в косом направлении через латеральный отросток таранной кости, затем по спице устанавливается винт.

Важным условием установки винта является корректное выполнение передне-задней рентгенографии голеностопного сустава. На стандартной передне-задней рентгенограмме плохо визуализируется латеральная часть голеностопного сустава (малоберцово-таранное сочленение). Во избежание установки винта интраартикулярно (с повреждением латеральной части голеностопного сустава)

необходимо выполнять передне-заднюю рентгенографию с внутренней ротацией голени на 15-20 градусов (рисунок 5.29).



Рисунок 5.29. Варианты выполнения передне-задней рентгенографии голеностопного сустава. А – стандартная передне-задняя рентгенография; Б – передне-задняя рентгенография с внутренней ротацией голени 15-20 градусов.

Как показано на рисунке 5.29, визуализация латеральной части голеностопного сустава лучше при внутренней ротации голени на 15-20 градусов. Данный прием позволяет определить некорректное (интраартикулярное) проведение спицы и избежать повреждения суставных поверхностей голеностопного сустава винтом.

Подбор длины винта осуществлялся следующим образом – длина винта не должна превышать расстояние от вершины латерального отростка таранной кости до голеностопного сустава (рисунок 5.30). Данное условие является необходимым, поскольку, при миграции винта с течением времени существует риск повреждения суставных поверхностей голеностопного сустава.



Рисунок 5.30. Методика подбора длины винта при артроэрезе подтаранного сустава блокирующим винтом в таранную кость.

Из рисунка 5.30 следует, что максимальная длина винта (без учета шляпки винта) составляет расстояние от вершины латерального отростка таранной кости до голеностопного сустава.

Для оценки степени коррекции деформации стопы после артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость проведен анализ изменений основных рентгенологических параметров стоп у детей. Полученные данные приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Изменения основных рентгенологических показателей после проведенного хирургического лечения (блокирующий винт в таранную кость (n=103))

Рентгенологические показатели	До операции	Срок после операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Передне-задний угол Meary/°	17,2 (11,9; 22,7)	-0,3 (-5,6; 2,7)	2,6 (-3,2; 7,7)	3,7 (0,5; 10,9)	0,8 (-6,7; 1,4)
Передне-задний угол Kite/°	30,8 (26,2; 35,7)	24,8 (16,1; 30,1)	25,4 (21,7; 31,8)	29,4 (20,2; 33,9)	23,9 (18,3; 30,4)
Угол латерального смещения ладьевидной кости/°	26,8 (20,1; 33,5)	6,6 (2,1; 16,0)	10,5 (4,2; 21,2)	13,1 (1,9; 28,1)	3,7 (1,2; 14,1)
Угол приведения переднего отдела/°	18,5 (14,3; 21,9)	20,6 (18,9; 27,8)	21,1 (18,3; 26,9)	20,2 (17,6; 25,4)	21,4 (19,9; 26,1)
Латеральный угол Kite/°	54,8 (50,2; 59,1)	41,7 (38,5; 44,6)	42,9 (38,9; 44, 4)	42,8 (40,1; 50,2)	44,5 (36,4; 51,6)
Латеральный угол Meary/°	30,4 (23,0; 38,9)	9,6 (5,7; 15,5)	9,2 (2,5; 16,5)	11,8 (5,8; 17,1)	7,2 (2,4; 17,6)
Угол наклона пяточной кости/°	10,1 (6,5; 13,6)	13,35 (11,5; 15,9)	15,4 (11,9; 19,1)	14,4 (13,1; 15,4)	15,5 (12,1; 17,1)
Таранно-пяточное соотношение/ %	50,6 (39,4; 58,9)	24,2 (15,7; 31,1)	25,3 (16,7; 33,9)	28,9 (24,1; 40,6)	27,9 (19,5; 36,4)
Таранно-большеберцовый угол/°	48,4 (42,3; 55,8)	68,6 (59,6; 72,1)	64,4 (59,4; 68,9)	68,1 (61,1; 70,5)	63,5 (60,3; 68,4)
Угол продольного свода/°	163,2 (157,5; 167,9)	146,4 (142,3; 150,5)	144,1 (140,5; 149,1)	146,6 (143,8; 151,3)	143,40 (139,7; 147,9)
Угол тарзального синуса/°	21,5 (16,2; 27,3)	43,9 (38,3; 49,2)	38,1 (32,9; 42,9)	36,6 (29,6; 43,6)	37,1 (29,4; 42,4)

Как можно отметить из таблицы 5.7, все параметры, за исключением угла приведения переднего отдела стопы, показали улучшение (тест Kruskal-Wallis; $p > 0,05$). Наиболее значимые изменения после проведенной операции касались следующих рентгенометрических критериев: передне-задний угол Meary, угол латерального смещения ладьевидной кости, латеральный угол Meary, таранно-пяточное соотношение, таранно-большеберцовый угол, угол продольного свода рентгенологический и угол тарзального синуса. Значения передне-заднего угла Kite, латерального угла Kite и угла наклона пяточной кости характеризовались меньшими изменениями после операции. Изменения угла приведения переднего отдела стопы не имели статистически значимых различий на разных этапах наблюдения после проведенного хирургического лечения.

Динамика изменений основных рентгенологических параметров приведена на рисунке 5.31.

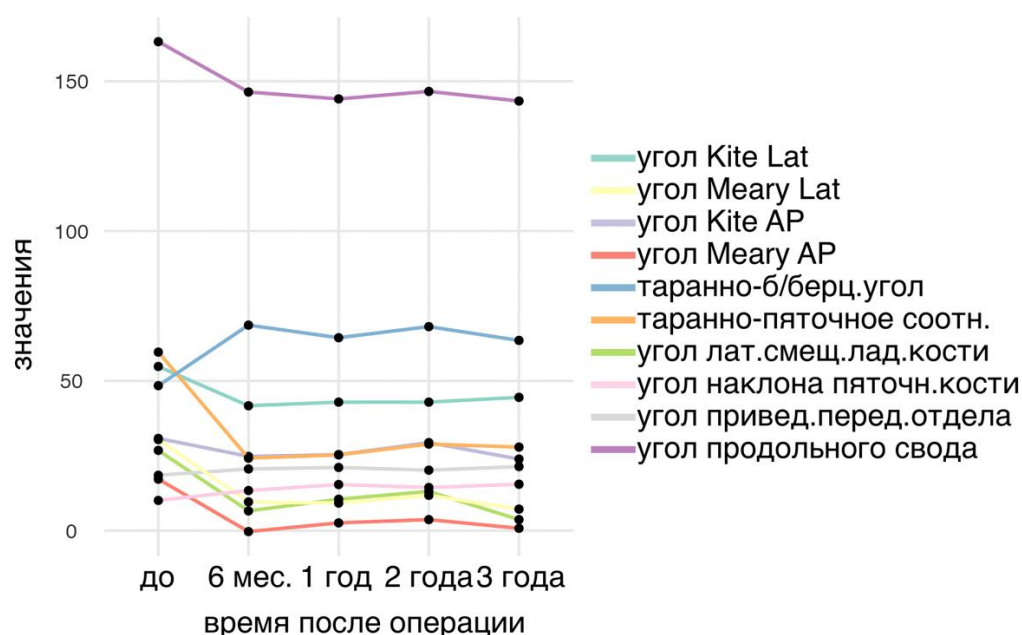


Рисунок 5.31. Динамика изменений основных рентгенометрических критериев на разных сроках после артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость (n=103).

Как можно отметить из рисунка 5.31, существенные различия наблюдались при сопоставлении данных на этапе до операции – 6 месяцев после операции. Наименее выраженные изменения на этом временном отрезке касались угла приведения переднего отдела стопы и угла наклона пяточной кости. При этом,

наблюдение за изменениями угла наклона пяточной кости на дальнейших этапах показали статистически значимые различия по сравнению с исходными значениями. Угол приведения переднего отдела стопы не показал статистически значимых различий на всем периоде наблюдения.

Для оценки изменений клинических показателей стоп у детей произведено сопоставление рассматриваемых параметров плоскостопия на разных сроках после операции. Полученные данные приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Изменения основных клинических показателей стоп после проведенного хирургического лечения (блокирующий винт в таранную кость (n=103))

Клинические показатели стоп	До операции	После операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Угол Dahle/°	125,80 (120,40; 130,90)	138,75 (133,83; 143, 30)	139,70 (134,90; 143,80)	136,00 (131,00; 139,55)	139,90 (137,00; 140,80)
Подометрический индекс Фридланда	24,25 (23,18; 25,73)	26,80 (25,60; 30,05)	27,75 (26,48; 20,00)	27,20 (25,95; 29,40)	26,40 (25,70; 27,45)
Вальгус заднего отдела/°	17,30 (13,43; 20,18)	7,05 (3,83; 10,08)	10,20 (7,20; 12,00)	10,00 (7,20; 13,70)	9,90 (6,70; 13,25)

Анализ приведенных в таблице 5.8 данных показывает, что клинические изменения после выполнения артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость характеризовались статистически значимыми различиями после проведенной операции (тест Kruskal-Wallis; $p>0,05$). Величина изменений подометрического индекса Фридланда оказалась наименее чувствительной к проведенному хирургическому вмешательству.

Динамика значимых клинических изменений после выполнения артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость приведена на рисунке 5.32.

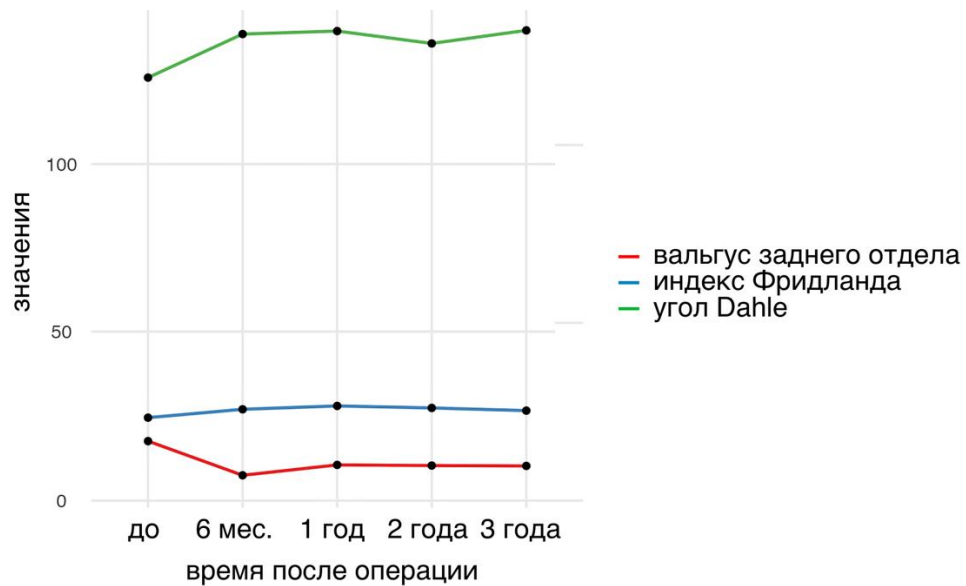


Рисунок 5.32. Динамика изменений основных подометрических величин после артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость (n=103).

На рисунке 5.32 видно, что после проведенного хирургического вмешательства отмечалось улучшение по всем подометрическим критериям. Наименьший разброс значений при сопоставлении данных до операции на последующих этапах наблюдения касался величины вальгуса заднего отдела и клинического угла продольного свода. Также отмечалось незначительное уменьшение степени коррекции деформаций стоп по исследуемым параметрам в сроки от 1 до 3 лет при последующем наблюдении. Стоит отметить, что указанные изменения не имели статистически значимых различий (DSCF тест; $p=0,12$). При оценке влияния возраста пациента на величину коррекции деформации, была отмечена умеренная положительная корреляционная связь ($r=0,427$; $p=0,01$), которая свидетельствовала о снижении потенциала коррекции при установке винта в раннем возрасте (до 12 лет).

Для оценки механического блокирующего влияния винта на подтаранный сустав нами проведено исследование, заключающееся в сопоставлении изменения угла тарзального синуса при максимальном эверзионном положении стопы до и после введения блокирующего винта в таранную кость. Данное исследование проведено 21 пациентом/ 25 стоп. Результаты исследования представлены на рисунке 5.33.

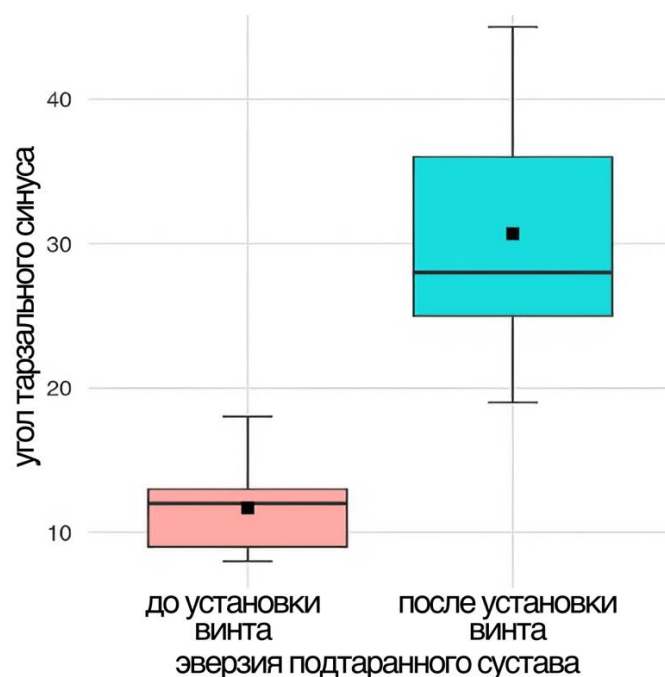


Рисунок 5.33. График изменения угла тарзального синуса до и после постановки блокирующего винта в таранную кость при эверзионном положении подтаранного сустава (n=25).

Следует подчеркнуть, что на рисунке 5.33 медианы значений угла тарзального синуса при эверзии стопы до и после постановки блокирующего винта в таранную кость имеют существенные различия (Т-критерий Wilcoxon; $p=0,009$). Пример блокирования эверзионных движений подтаранного сустава после артроэреза блокирующим винтом в таранную кость приведен на рисунке 5.34.

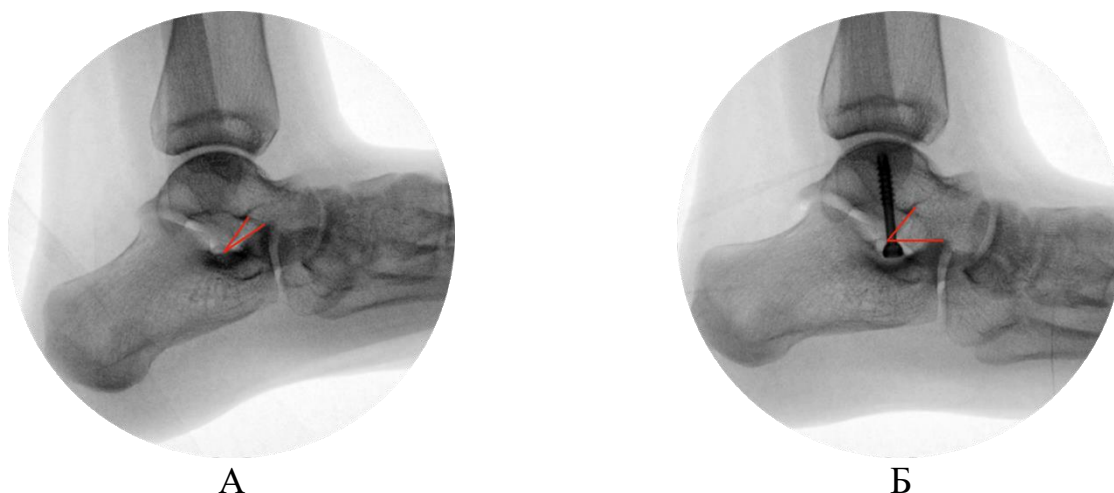


Рисунок 5.34. Пассивная мобильность подтаранного сустава при постановке блокирующего винта в таранную кость. А – эверзия до постановки блокирующего винта; Б – эверзия после постановки блокирующего винта.

Таким образом, воздействие блокирующего винта в таранную кость является в большей степени механическим блокированием. Данная особенность не исключает наличие проприоцептивного механизма действия, однако результаты данного исследования показывают потенциал именно механического блокирования подтаранного сустава. Указанная особенность позволяет регулировать степень коррекции деформации стопы путем изменения глубины введения блокирующего винта (рисунок 5.35).

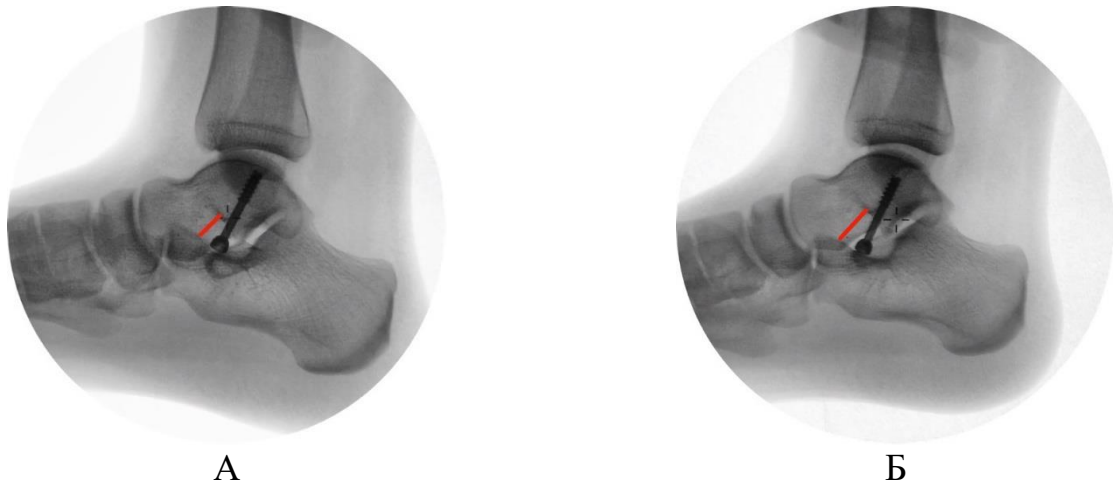


Рисунок 5.35. Изменение степени коррекции деформации стопы путем изменения глубины вкручивания винта в таранной кости. Красной линией отмечен размер тарзального синуса. А – уменьшение коррекции деформации стопы; Б – увеличение коррекции деформации стопы.

Как можно увидеть на рисунке 5.35, путем изменения глубины вкручивания винта можно как уменьшить коррекцию деформации (А), так и увеличить ее (Б). Данный прием позволяет точно задать необходимую степень коррекции деформации, что отличает этот метод артроэреза подтаранного сустава от других.

Для оценки особенностей расположения блокирующего винта в таранной кости проведено сравнительное исследование, заключающееся в анализе влияния углов наклона винта на основные клинко-рентгенологические характеристики плано-вальгусной деформации стопы. Методика оценки угла наклона винта по отношению к таранной кости изображена на рисунке 5.36.

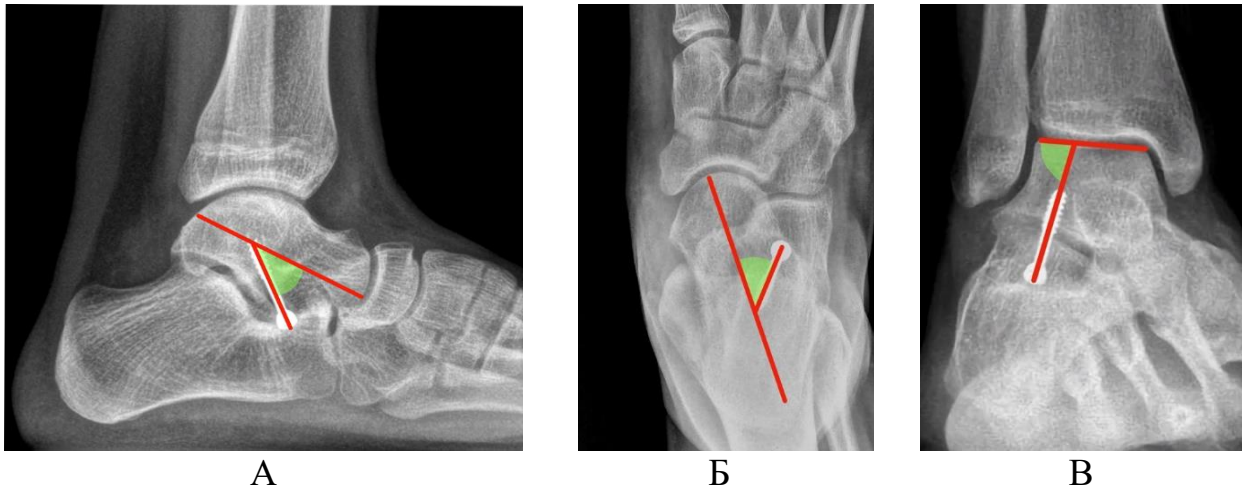


Рисунок 5.36. Методика определения углов наклона винта в боковой проекции (А), в передне-задней проекции (Б) и в передне-задней проекции голеностопного сустава (В).

Как видно на рисунке 5.36, угол наклона винта в таранной кости в боковой и передне-задней проекции стопы строился между осевой линией винта и осевой линией таранной кости. Угол наклона винта в передне-задней проекции голеностопного сустава строился между осевой линией винта и плоскостью голеностопного сустава (линия, соединяющая крайнюю медиальную и латеральную точки блока таранной кости).

Данные корреляционных связей между углами наклона винта в таранной кости и основными клинико-рентгенологическими критериями плоскостопия приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Корреляция Pirson между основными клинико-рентгенометрическими показателями и углами наклона блокирующего винта в таранной кости (n=103)

Клинико-рентгенометрические показатели	Угол наклона винта		
	Передне-задняя проекция	Боковая проекция	Передне-задняя проекция голеностопного сустава
Передне-задний угол Meary	0,405**	0,076	-0,219
Передне-задний угол Kite	0,514**	0,189	-0,441*
Угол латерального смещения ладьевидной кости	0,611**	0,154	-0,322
Угол приведения переднего отдела	0,304*	0,086	-0,238
Латеральный угол Kite	0,087	-0,384**	0,280
Латеральный угол Meary	-0,113	-0,439**	-0,054
Угол наклона пяточной кости	0,289**	0,298**	0,423*
Таранно-пяточное соотношение	-0,261**	-0,592**	0,051
Таранно-большеберцовый угол	-0,029	0,274**	-0,089
Угол продольного свода рентгенологический	-0,212*	-0,410**	-0,037
Угол тарзального синуса	-0,305**	-0,124	0,023
Угол продольного свода клинический	0,088	0,280**	-0,097
Подометрический индекс Фридланда	0,324**	0,323**	-0,132
Вальгус заднего отдела	-0,137	-0,315**	0,096
*- корреляция значима на уровне 0,05; ** - корреляция значима на уровне 0,01			

Как можно увидеть из таблицы 5.9, величина угла наклона винта в прямой проекции обратно пропорциональна степени коррекции деформации стопы по исследуемым рентгенологическим и клиническим параметрам. Также отмечается зависимость величины приведения переднего отдела стопы от угла наклона винта в передне-задней проекции. Однако, учитывая, что значимых различий по изменению угла приведения переднего отдела стопы на разных этапах лечения и наблюдения нами отмечено не было, данной закономерностью можно пренебречь с практической точки зрения. Также стоит отметить, что по рентгенологическим и клиническим величинам уменьшение угла наклона винта на передне-задней рентгенограмме стопы характеризовалось увеличением степени коррекции деформации. Самое значимое влияние угол наклона винта в прямой проекции оказывал на угол латерального смещения ладьевидной кости, коэффициент детерминации квадратичной регрессионной модели (R^2) при котором составил 0,394 ($p=0,000$).

При имплантации винта в таранную кость его положение оценивается по боковой рентгенограмме и прямой рентгенограмме голеностопного сустава. Для определения оптимального положения винта при установке построены графики линейной регрессии по параметрам ориентации винта, которые учитываются при его имплантации. Примеры построения графиков и проведенных расчетов приведены на рисунке 5.37.

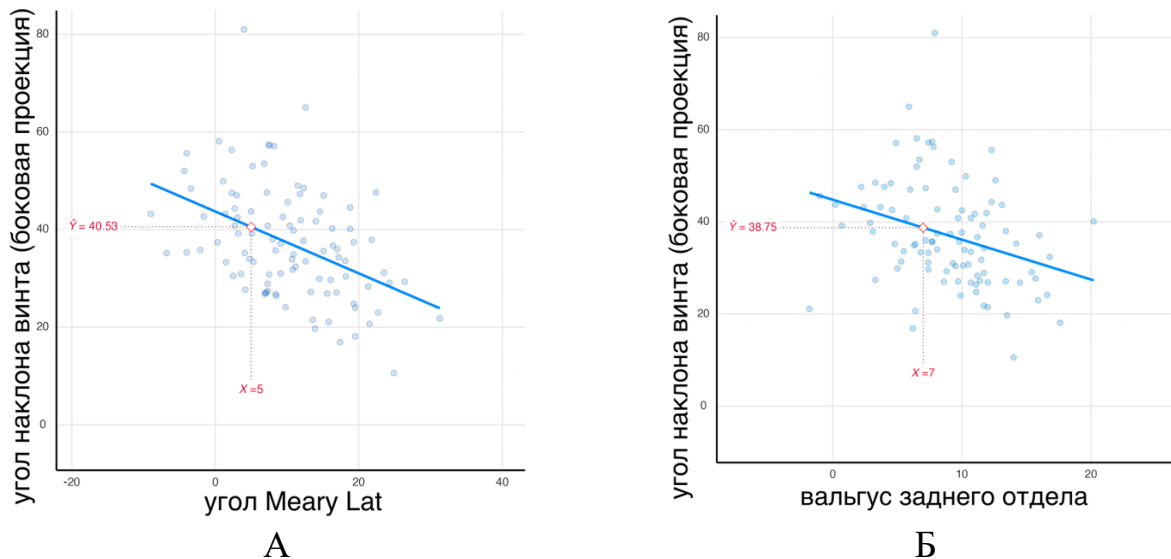


Рисунок 5.37. Графики линейной регрессионной модели между положением винта в таранной кости и значимыми клинико-рентгенологическими критериями: латеральный угол Meary (А), вальгус заднего отдела стопы (Б) (n=103).

Как можно увидеть на рисунке 5.37, при внесении в регрессионную модель референтных значений исследуемых параметров, угол наклона угла в боковой проекции был около 40 градусов. При расчете оптимальной величины коррекции по регрессионным моделям, угол наклона винта в среднем был 40-50°. При выборе точки имплантации винта в области апекса латерального отростка таранной кости, угол наклона винта в 40-50° соответствует центру блока таранной кости (рисунок 5.38).



Рисунок 5.38. Корректная ориентация винта в таранной кости на боковой рентгенограмме. Зеленным цветом отмечен контур блока таранной кости, красная линия показывает направление установки винта.

На рисунке 5.38. центр блока таранной кости соответствует углу наклона винта в боковой проекции 40-50 градусов. При проведении навигационной спицы через вершину латерального отростка таранной кости или несколько кпереди, ориентирование ее на центр блока таранной кости будет способствовать установке блокирующего винта под оптимальным углом.

В таблице 5.9 показано, что угол наклона винта в прямой проекции голеностопного сустава был прямо пропорционален степени коррекции деформации стопы. Наиболее значимое влияние угол наклона винта в прямой проекции голеностопного сустава оказывал на угол наклона пяточной кости, коэффициент детерминации квадратичной регрессионной модели (R^2) при котором составил 0,353 ($p > 0,001$). При этом, максимальная коррекция деформации стопы наблюдалась при угле наклона винта в таранной кости в прямой проекции голеностопного сустава от 70 до 90 градусов. Небольшое количество значимых корреляционных связей между исследуемым параметром и клинико-рентгенологическими показателями степени коррекции деформации стопы может быть обусловлено небольшим количеством исследований ($n=33$). Угол наклона винта в таранной кости в прямой проекции и в прямой проекции голеностопного сустава геометрически связаны между собой – при увеличении угла наклона винта в прямой проекции, этот угол уменьшается в прямой проекции голеностопного сустава. Для оценки степени взаимного влияния этих углов был проведен анализ

корреляционной связи. Коэффициент корреляции составил: $r=-0,583$; $p>0,001$. Учитывая, что наклон винта на передне-задней рентгенограмме стопы имел сильную корреляционную связь с углом латерального смещения ладьевидной кости ($r=0,611$), а угол наклона винта в прямой проекции стопы и прямой проекции голеностопного сустава также имели сильную корреляционную связь ($r=-0,583$), был выполнен расчет оптимального положения винта в прямой проекции голеностопного сустава исходя из положения на передне-задней рентгенограмме стопы. Графики и расчет этой величины приведены на рисунке 5.39.

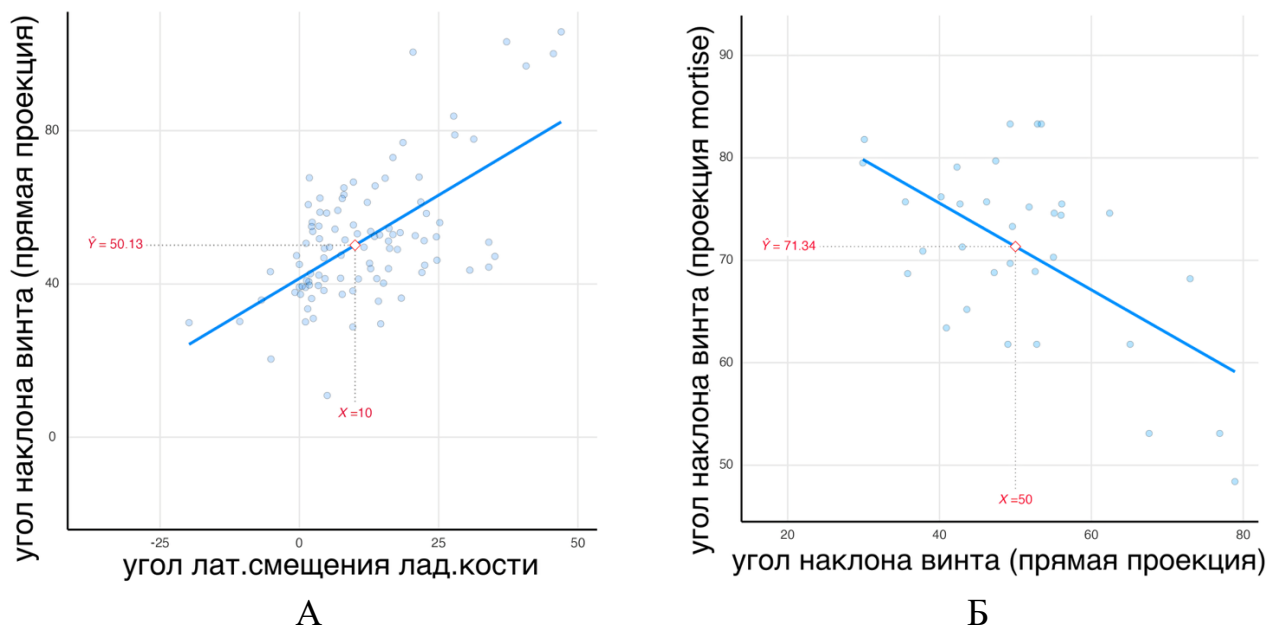


Рисунок 5.39. График линейной регрессионной модели между углом наклона винта в таранной кости в прямой проекции и углом латерального смещения ладьевидной кости (А) ($n=103$) и наклоном винта в прямой проекции голеностопного сустава (Б) ($n=31$).

На графике рисунка 5.39А референтное значение угла латерального смещения ладьевидной кости до 10° соответствует углу наклона винта на передне-задней рентгенограмме стопы в 50° . На рисунке 5.39Б угол наклона винта в передне-задней проекции в 50° соответствует углу наклона винта на прямой рентгенограмме голеностопного сустава в 70° . Исходя из полученных данных, наименьшее значение угла наклона винта в таранной кости в прямой проекции соответствует наклону винта в прямой проекции голеностопного сустава от 70 градусов. На передне-задней рентгенограмме голеностопного сустава в проекции

mortise угол наклона в 70° по отношению к плоскости сустава примерно соответствует плоскости суставной поверхности малоберцово-таранного сустава (рисунок 5.40).

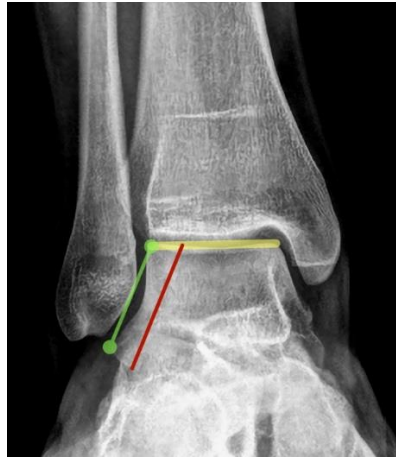


Рисунок 5.40. Определение пограничной величины наклона винта в прямой проекции голеностопного сустава.

На рисунке 5.40 показано, что линия (зеленого цвета), соединяющая проксимальную и дистальную часть малоберцово-таранного сустава, чаще всего наклонена по отношению к плоскости голеностопного сустава (желтая линия) под углом 70° . Соответственно, проведение винта параллельно этой линии (линия красного цвета) будет соответствовать его наклону по отношению к плоскости голеностопного сустава под углом в 70° . Посредством выявленной взаимосвязи между углами наклона винта в таранной кости в указанных проекциях можно заключить, что наибольшим потенциалом коррекции обладает постановка блокирующего винта в таранную кость, при которой угол наклона винта в прямой проекции голеностопного сустава приближается к 90 градусам.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что положение винта в таранной кости оказывает влияние на степень коррекции деформации стопы. Наибольшим корригирующим потенциалом обладает вариант имплантации винта в таранную кость, при котором винт ориентируется на центр блока таранной кости, а в прямой проекции голеностопного сустава угол наклона винта соответствует плоскости малоберцово-таранного сустава или приближается к 90 градусам.

Для оценки динамики изменений основных клинических и рентгенологических параметров стоп проведен анализ указанных изменений в сроки до 4 лет после удаления металлоконструкции (n=69). Полученные данные клинико-рентгенологических параметров приведены на рисунке 5.41.

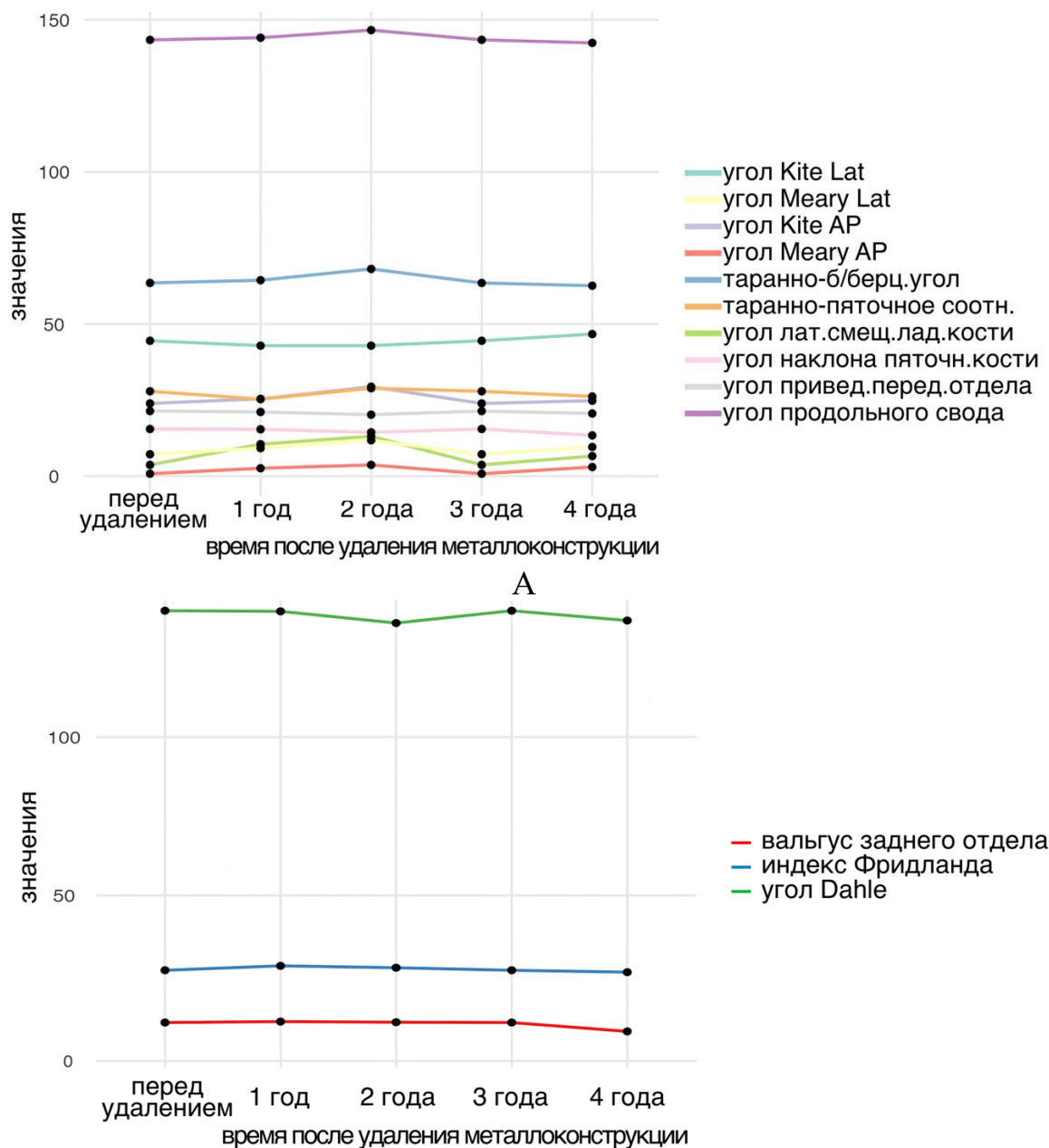


Рисунок 5.41. Динамика изменений основных клинико-рентгенологических параметров стоп у детей на разных сроках после удаления металлоконструкций (n=69). А – изменение рентгенометрических величин; Б – изменение подометрических величин.

На рисунке 5.41 показано, что по большинству клинических и рентгенологических показателей отмечалось незначительное уменьшение степени коррекции деформации стоп. Однако, данные изменения не носили статистически значимых различий (тест Kruskal-Wallis; $p > 0,05$). Тем не менее, можно отметить планомерное незначительное снижение коррекции деформаций стоп после удаления металлоконструкций, которое не оказывает значимого влияния на результат лечения.

5.1.4 Осложнения артроэреза подтаранного сустава

Осложнения после артроэреза подтаранного сустава по системе Clavien-Dindo-Sink относились к I – III классам. Общехирургические осложнения в виде поверхностного воспаления, переломов направляющих спиц при установке винтов не являлись специфическими и встречались в единичных случаях. При выполнении артроэреза подтаранного сустава встречались специфические осложнения, которые включали: миграцию имплантов - 28/41,8%; переломы металлоконструкций (винтов) – 13/8,3%; периимплантный лизис 130/83,3% и развитие болевого синдрома 46/20,6%.

5.1.4.1 Миграция подтаранных имплантов

Увеличение степени коррекции деформации при использовании подтаранных имплантов может быть достигнута двумя способами. Первый – это замена импланта на другой (большего размера). Второй – это чрезмерное погружение импланта в тарзальный синус. На практике чаще используется второй способ, так как он является менее затратным. С другой стороны, при избыточном внедрении импланта может возникать его импакция в окружающие кости. Чрезмерная импакция подтаранного импланта значительно ограничивает движения в подтаранном суставе и может приводить к внедрению импланта в кость или область сустава (рисунок 5.42).

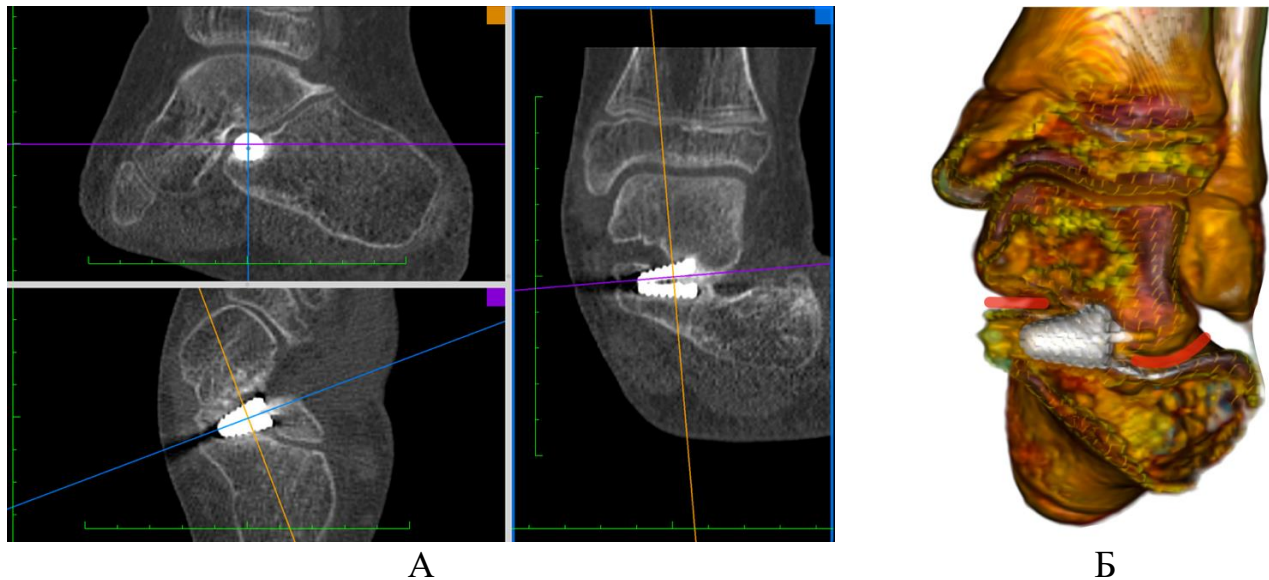


Рисунок 5.42. Миграция импланта с внедрением его в область медиальной фасетки подтаранного сустава. А – 3D MPR реконструкция; Б – объемная визуализация КТ с сегментацией среднего и переднего отдела через центр импланта.

Как можно увидеть на рисунке 5.42, для достижения необходимой величины коррекции деформации стопы подтаранный имплант меньшего размера был внедрен в область тарзального канала, что привело к его импакции в область sustentaculum tali (на рисунке 5.42Б красным цветом отмечены суставные щели задней и медиальной фасеток подтаранного сустава). С другой стороны, при помещении подтаранного импланта в тарзальный синус и получении искомой коррекции повышается риск его миграции. Это связано с тем, что при ходьбе подтаранный сустав меняет свое положение с эверзионного на инверзионное, а тарзальный синус меняет свой размер. Таким образом, при фиксации подтаранного сустава в максимальном положении инверзии снижается риск миграции импланта, но повышается риск его импакции в кости и суставы, образующие тарзальный синус и канал. При фиксации имплантом подтаранного сустава в нейтральном положении, повышается риск его миграции за счет увеличения размеров синуса при инверзии подтаранного сустава.

Из всех наблюдений, миграция подтаранных имплантов была отмечена в 41,8% случаев. Примеры миграции подтаранных имплантов приведены на рисунке 5.43.

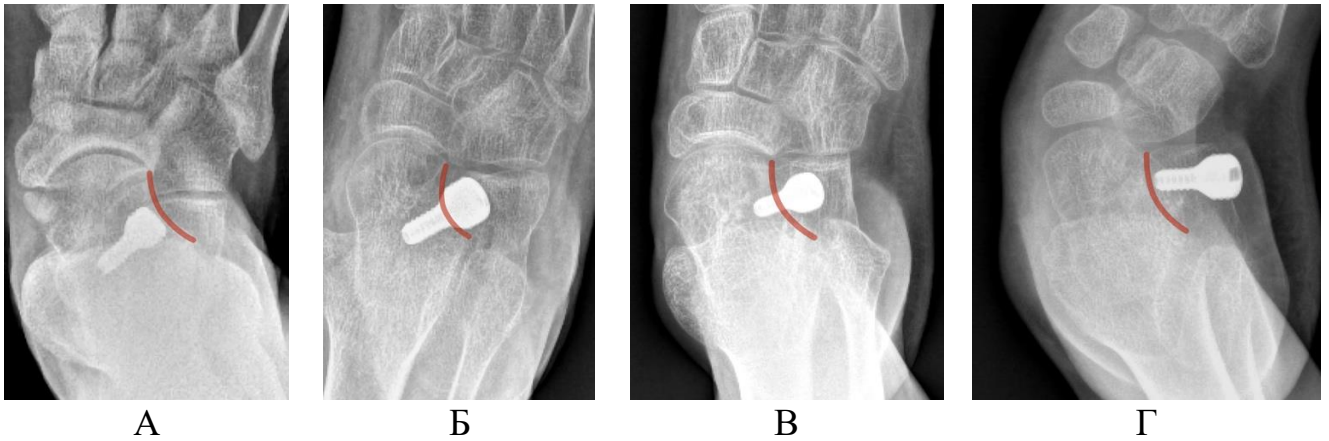
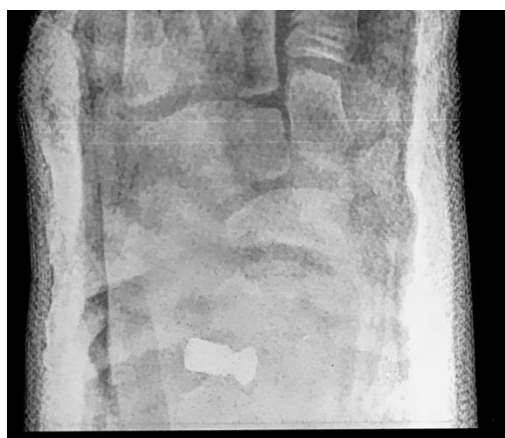


Рисунок 5.43. Разные степени миграции подтаранных имплантов. Линией красного цвета отмечена латеральная часть шейки таранной кости. А – имплант находится полностью в тарзальном синусе; Б – меньшая часть импланта находится за границами тарзального синуса; В – большая часть импланта находится за границами тарзального синуса; Г – имплант полностью находится за границами тарзального синуса.

Как видно на рисунке 5.43А, в норме имплант не выходит за границы тарзального синуса (линией красного цвета отмечен латеральный край шейки таранной кости, который соответствует латеральной границе тарзального синуса). При отсутствии стабильной фиксации подтаранный имплант постепенно смещается за пределы тарзального синуса (рисунок 5.43 Б-Г). В таблице 5.2 и графике на рисунке 5 было показано, что избыточная коррекция деформации стопы на сроках до 1 года после операции в большинстве случаев была обусловлена инверзионным положением подтаранного сустава. Затем, у части пациентов происходила миграция подтаранных имплантов, с этим связана частичная потеря коррекции на сроках через 2 и 3 года после операции. Кроме того, у 5 пациентов была отмечена миграция импланта с его ротацией без выхода за границы тарзального синуса (рисунок 5.44).



А



Б

Рисунок 5.44. Миграция подтаранного импланта (ротация). А – рентгенограммы, выполненные по месту жительства после установки импланта; Б – рентгенограммы, выполненные в стационаре перед удалением импланта.

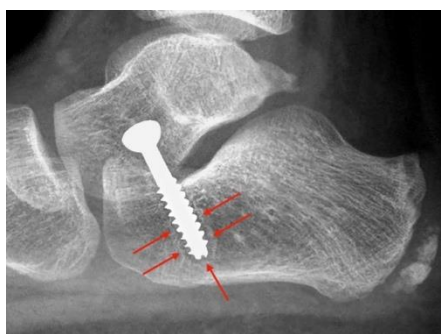
Как можно увидеть из рисунка 5.44А, после установки подтаранный имплант располагался в соответствии с положением тарзального синуса. При выполнении рентгенограмм в связи с наличием болевого синдрома было выявлено, что подтаранный имплант ротирован (рисунок 5.44Б), линиями красного цвета отмечены границы тарзального канала.

5.1.4.2 Периимплантный лизис кости при артроэре подтаранного сустава

При анализе рентгенограмм пациентов с плоскостопием после артроэре подтаранного сустава были отмечены случаи перимплантного лизиса таранной кости (рисунок 5.45).



А



Б



В

Рисунок 5.45. Периимплантный лизис после артроэре подтаранного сустава. А – винт в пяточной кости; Б – винт в таранной кости; В – подтаранный имплант.

Как можно увидеть из рисунка 5.45, периимплантный лизис может возникнуть после всех вариантов подтаранного артроэреза (отмечено стрелками).

При анализе рентгенограмм и КТ пациентов после артроэреза подтаранными имплантами периимплантный лизис был отмечен в 83,3% случаев по КТ, однако, его оценка по рентгенограммам была затруднительна в связи с различными вариантами положения подтаранного импланта. В связи с этим, был проведен анализ частоты встречаемости периимплантного лизиса таранной и пяточной кости в группе пациентов с использованием блокирующих винтов, а также оценка частоты встречаемости данной особенности на разных сроках наблюдения после проведенного лечения. После анализа полученных данных было выявлено, что периимплантный лизис таранной кости встречается в 47,5%, а пяточной кости – в 24,1% случаев. При этом, общая частота встречаемости периимплантного лизиса изменялась на разных сроках наблюдения после операции (рисунок 5.46).

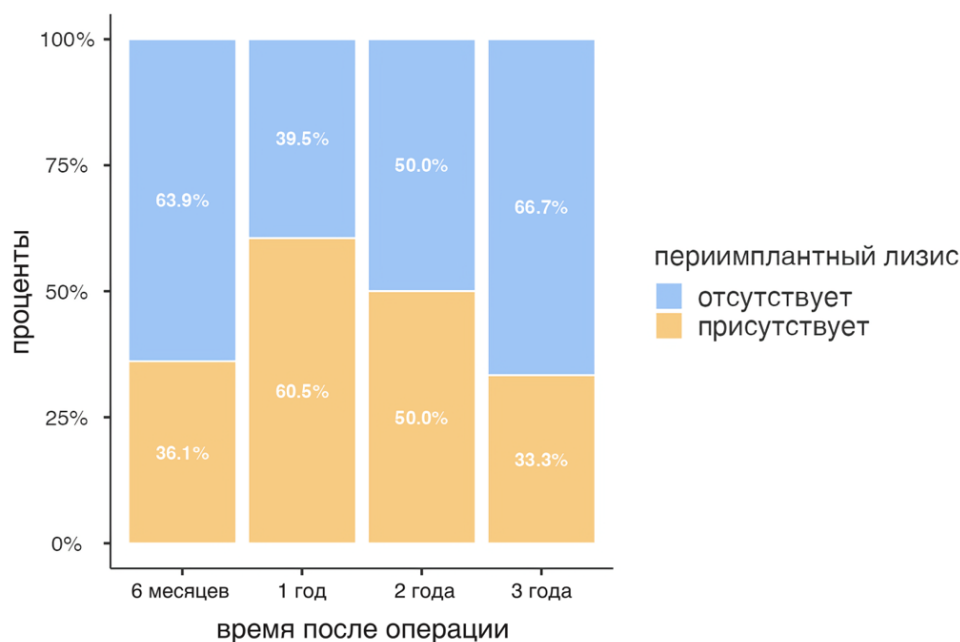


Рисунок 5.46. Частота встречаемости периимплантного лизиса таранной кости на разных сроках наблюдения после хирургического лечения.

На рисунке 5.46 видно, что максимальная частота периимплантного лизиса наблюдалась через 1 год после операции (60,6%), затем отмечалось снижение частоты встречаемости – через 2 года после операции – 50% и через 3 года после операции – 33,3%. Стоит отметить, что в большинстве случаев лизис не превышал 1 – 3 мм вокруг резьбовой части винта, также во всех случаях отсутствовали

какие-либо жалобы пациентов (вне зависимости от степени лизиса). Клинический пример выраженного периимплантного лизиса таранной кости приведен на рисунке 5.47.

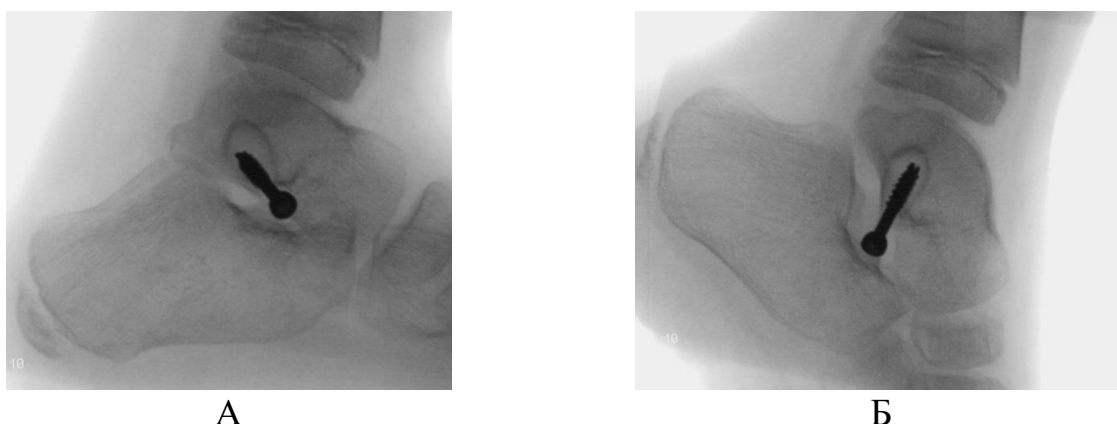


Рисунок 5.47. Выраженный периимплантный лизис таранной кости у пациента 9 лет через год после постановки блокирующего винта в пяточную кость. Изменение расположения винта при тыльном (А) и подошвенном (Б) сгибании стопы.

Как можно отметить на рисунке 5.47, выраженный лизис таранной кости привел к формированию кисты и нестабильности импланта. Несмотря на значительные рентгенологические изменения, у данного пациента не было отмечено потери коррекции деформации стопы и отсутствовали жалобы. Кроме того, при динамическом наблюдении была отмечен самопроизвольный регресс лизиса таранной кости через 1 год (рисунок 5.48).



Рисунок 5.48. Изменение выраженности периимплантного лизиса с течением времени. А — 1 год после постановки блокирующего винта в таранную кость; Б — 2 года после постановки блокирующего винта в таранную кость.

Как видно из рисунка 5.48, даже при выраженном лизисе таранной кости отмечается самопроизвольный регресс рентгенологических изменений.

Для анализа влияния варианта установки винта был проведен корреляционный анализ между угловыми показателями расположения винта и периимплантным лизисом. Корреляционная матрица приведена в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Корреляция Spearman между угловыми показателями расположения винта в таранной кости и периимплантным лизисом (n=47)

Показатели в корреляционной матрице		Угол наклона винта в таранной кости			Лизис кости вокруг винта
		Передне-задняя проекция	Передне-задняя проекция голеностопного сустава	Боковая проекция	
Угол наклона винта в таранной кости	Передне-задняя проекция	1	0,395*	-0,240*	0,411**
	Передне-задняя проекция голеностопного сустава	0,395*	1	0,107	0,099
	Боковая проекция	-0,240*	0,107	1	-0,087
Лизис кости вокруг винта		0,411**	0,099	-0,087	1
* - корреляция значима на уровне 0,05; ** - корреляция значима на уровне 0,01					

Как можно отметить из корреляционной матрицы, приведенной в таблице 5.10, умеренная корреляционная связь обнаружена между периимплантным лизисом таранной кости углом наклона винта на передне-задних рентгенограммах. График влияния угла наклона винта в таранной кости в передне-задней проекции на периимплантный лизис представлен на рисунке 5.49.

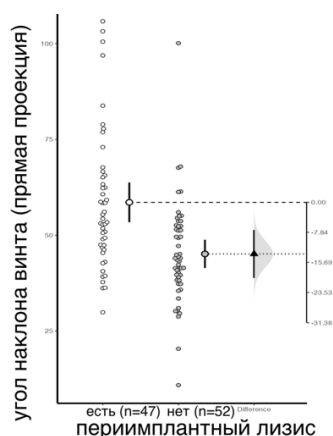


Рисунок 5.49. График влияния угла наклона винта в пере-задней проекции на периимплантный лизис (n=99).

Положительный характер связи свидетельствует о том, что более вертикальное расположение винта во фронтальной плоскости вызывает меньший периимплантный лизис кости. Отсутствие сильной корреляционной связи между углом наклона винта в передне-задней проекции голеностопного сустава может быть объяснено небольшим количеством наблюдений, при которых выполнялось данное исследование ($n=33$), однако, учитывая умеренную корреляционную связь между углом наклона винта в передне-задней проекции и углом наклона винта в передне-задней проекции голеностопного сустава (коэффициент *Pirson*, $r=-0,583$), можно заключить, что более вертикальное расположение винта во фронтальной плоскости вызывает меньший периимплантный лизис.

Положительная корреляционная связь между углом наклона винта в пяточной кости и периимплантным лизисом свидетельствует о том, что такое положение винта обладает более высоким корригирующим потенциалом и это определяет характер нагрузок на винт, что и является причиной периимплантного лизиса. Меньшая частота встречаемости периимплантного лизиса у пациентов с винтами в пяточной кости связана с меньшим потенциалом коррекции деформации и меньшими текущими нагрузками на имплант.

5.1.4.3 Изменение расположения винта в таранной и пяточной на разных сроках наблюдения

При анализе динамики изменения угла наклона винта в пяточной кости на разных сроках наблюдения после операции значимых различий получено не было (рисунок 5.50).

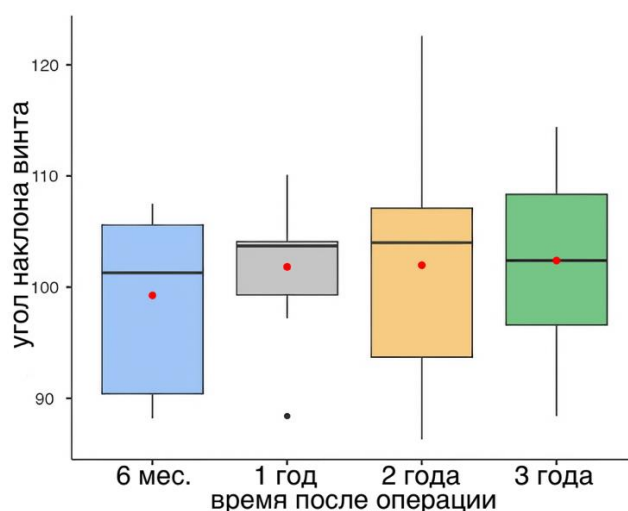


Рисунок 5.50. Положение винта в пяточной кости на разных сроках наблюдения после операции (n=53).

Как можно увидеть на рисунке 5.50, угол наклона винта в пяточной кости значимо не менялся с течением времени и составлял около 100° ($p > 0,05$; тест Kruskal-Wallis).

Учитывая то, что винт в таранной кости испытывает большую механическую нагрузку по отношению к винту в пяточной кости, что показывают результаты исследования частоты встречаемости периимплантного лизиса, нами проведено исследование, заключающееся в оценке расположения винта – глубины его залегания. Для этого была разработана методика расчета глубины залегания винта в таранной кости, схема расчета приведена на рисунке 5.51.

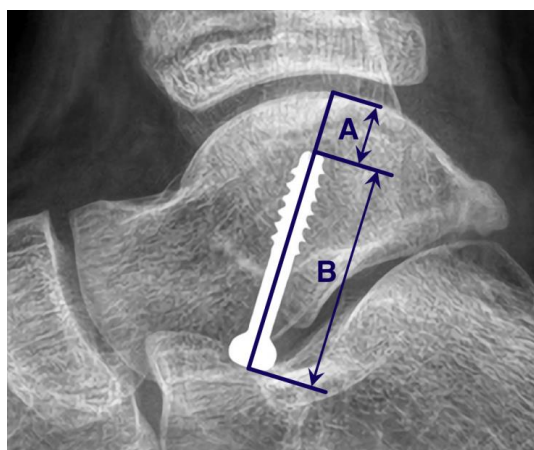


Рисунок 5.51. Схема расчета глубины расположения винта в таранной кости.

Как можно отметить на рисунке 5.51, по линии оси винта рассчитывалось расстояние от кончика винта до щели голеностопного сустава (A).

Путем отношения этого расстояния к длине винта рассчитывалось относительное расстояние от кончика винта до голеностопного сустава в процентах от длины винта: $A/B \times 100\%$. Использование относительной величины позволило избежать погрешностей, связанных с фокусным расстоянием. Графики динамики изменения положения винта на разных сроках после операции приведены на рисунке 5.52.

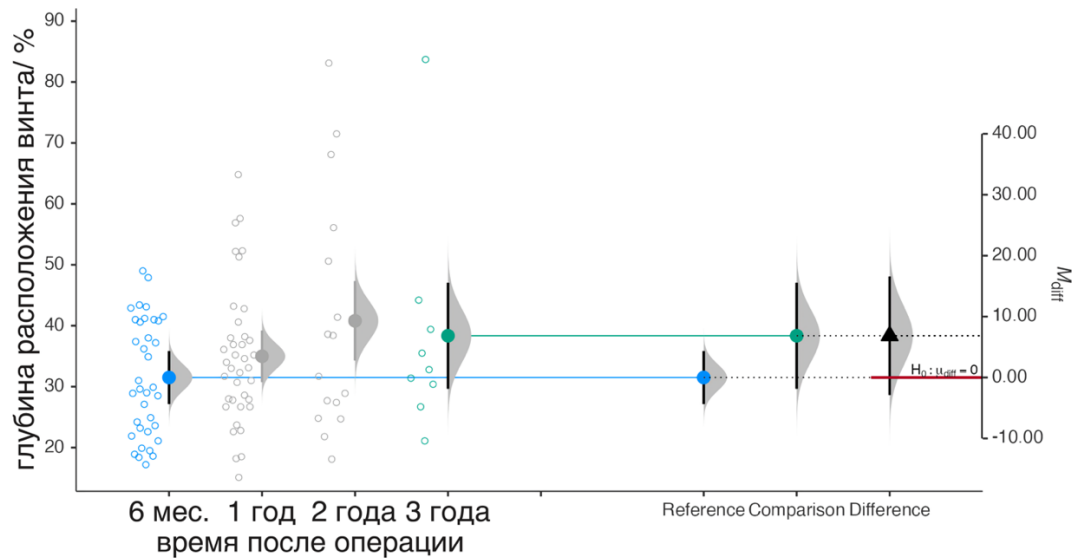


Рисунок 5.52. Динамика изменений глубины расположения винта в таранной кости на разных сроках после хирургического лечения (n=99).

Как можно увидеть на рисунке 5.52, с течением времени отмечается уменьшение глубины расположения винта в таранной кости (увеличение расстояния от кончика винта до голеностопного сустава). При этом, в сравнении с началом наблюдения, через 3 года после операции расстояние между кончиком винта и голеностопным суставом увеличивалось в среднем до 10% от длины винта, что требует дальнейшего исследования ввиду отсутствия факторов, обуславливающих уменьшение глубины расположения винта. В связи с этим, был проведен анализ динамики изменения угла расположения винта по отношению к таранной кости на боковой, передне-задней рентгенограмме стопы и передне-задней рентгенограмме голеностопного сустава.

Таблица 5.11 – Динамика расположения винта в таранной кости на разных сроках наблюдения после операции (n=99)

Показатели расположения винта	N	Сроки наблюдения после операции				Статистика теста
		6 мес.	1 год	2 года	3 года	
глубина расположения винта/ %	99	29,8 (22,9; 40,9)	33,5 (27,7; 38,4)	35,1 (25,9; 53,8)	32,8 (29,2; 41,0)	F= 0,53, p= 0,711
угол наклона винта (боковая проекция)/ °	100	39,2 (31,7; 44,3)	35,5 (27,2; 47,3)	32,9 (29,1; 36,8)	33,3 (25,9; 44,1)	F= 1,37, p= 0,251
угол наклона винта (передне-задняя проекция)/ °	99	42,9 (37,3; 54,2)	52,8 (45,8; 58,7)	48,1 (43,9; 53,0)	44,9 (42,0; 64,1)	F= 1,62, p=0,181
угол наклона винта (проекция mortise)/°	33	75,2 (69,9; 78,6)	72,3 (68,4; 75,6)	67,0 (63,2; 77,3)	63,8 (53,1; 74,6)	F=0,39, p=0,811
*тест Kruskal-Wallis						

Как можно отметить, исходя из данных таблицы 5.11, несмотря на отсутствие значимых различий между декретированными сроками наблюдения, отмечается тенденция изменения положения винта в таранной кости с течением времени. Графическое отображение полученных данных изображено на рисунке 5.53.

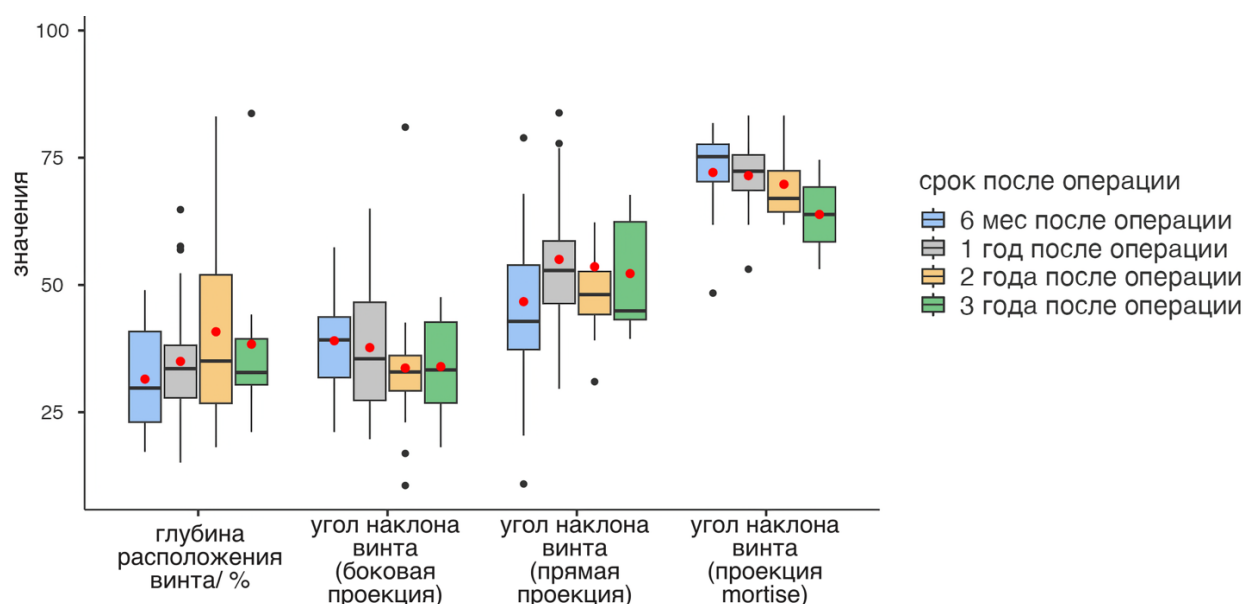


Рисунок 5.53. Графики изменения положения таранной кости на разных сроках наблюдения (n=99).

На рисунке 5.53 видно, что с течением времени отмечается уменьшение наклона винта на рентгенограммах в боковой проекции и проекции mortise

(горизонтализация), а также увеличение угла наклона винта на рентгенограммах в передне-задней проекции. Эти данные свидетельствуют, что со временем винт в таранной кости занимает более горизонтальное положение. Пример изменения положения винта приведен на рисунке 5.54.

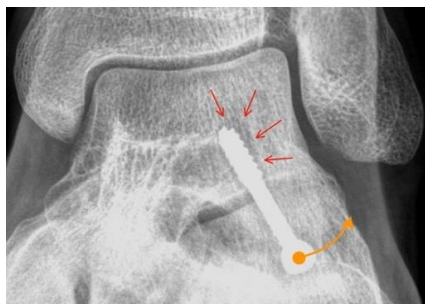


Рисунок 5.54. Горизонтализация винта в таранной кости на передне-задней рентгенограмме в проекции mortise. Стрелками красного цвета отмечены границы периимплантного лизиса, стрелкой желтого цвета отмечена траектория смещения винта, обуславливающая расположение периимплантного лизиса.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о необходимости вертикального расположения винта во фронтальной плоскости и центрации винта на среднюю часть блока таранной кости в сагиттальной плоскости для уменьшения секущих нагрузок и снижения вероятности развития периимплантного лизиса и частичной потери коррекции деформации. Пример корректной установки винта по полученным параметрам приведен на рисунке 5.55.



А



Б

Рисунок 5.55. Пример корректной установки винта в таранную кость по полученным в ходе исследования критериям на боковой рентгенограмме (А) и передне-задней рентгенограмме голеностопного сустава (Б).

Для оценки влияния возраста пациента на встречаемость периимплантного лизиса был проведен однофакторный дисперсионный анализ Kruskal-Wallis, который показал значимое влияние возраста пациента на частоту периимплантного лизиса ($\chi^2=6,80$; $df=1$; $p>0,001$). График частоты периимплантного лизиса в зависимости от возраста пациента приведен на рисунке 5.56.

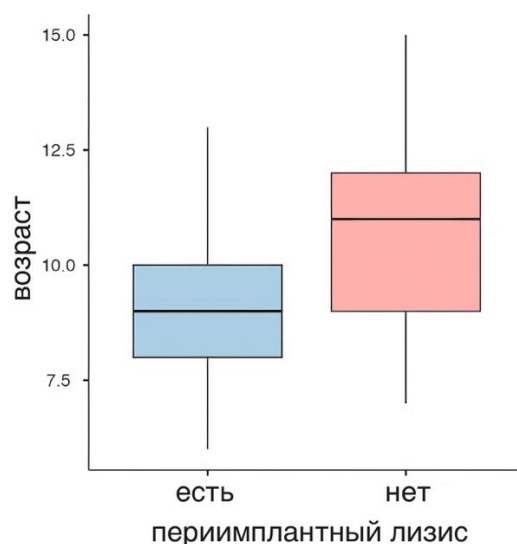


Рисунок 5.56. Графики распределения по возрасту пациентов с наличием и отсутствием периимплантного лизиса (n=99).

Как можно увидеть из графика на рисунке 5.56, максимальная частота периимплантного лизиса наблюдалась у детей до 10 лет. С другой стороны верхняя граница 95% ДИ в группе пациентов с периимплантным лизисом не превышала 13 лет. Таким образом, установка блокирующего винта после 13 лет имеет меньший риск развития периимплантного лизиса и потери коррекции в связи с ним.

5.1.4.4 Переломы металлоконструкций при артроэрезе подтаранного сустава

При анализе отдаленных результатов артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную и пяточную кость были выявлены случаи переломов винтов (n=13). Из них, 9 винтов в таранной кости, 4 винта в пяточной кости. При анализе причин, приводящих к перелому металлоконструкции, было установлено, что у всех пациентов с переломами винтов в пяточной кости на передне-задних рентгенограммах винты располагались кпереди от латерального отростка пяточной кости (рисунок 5.57).

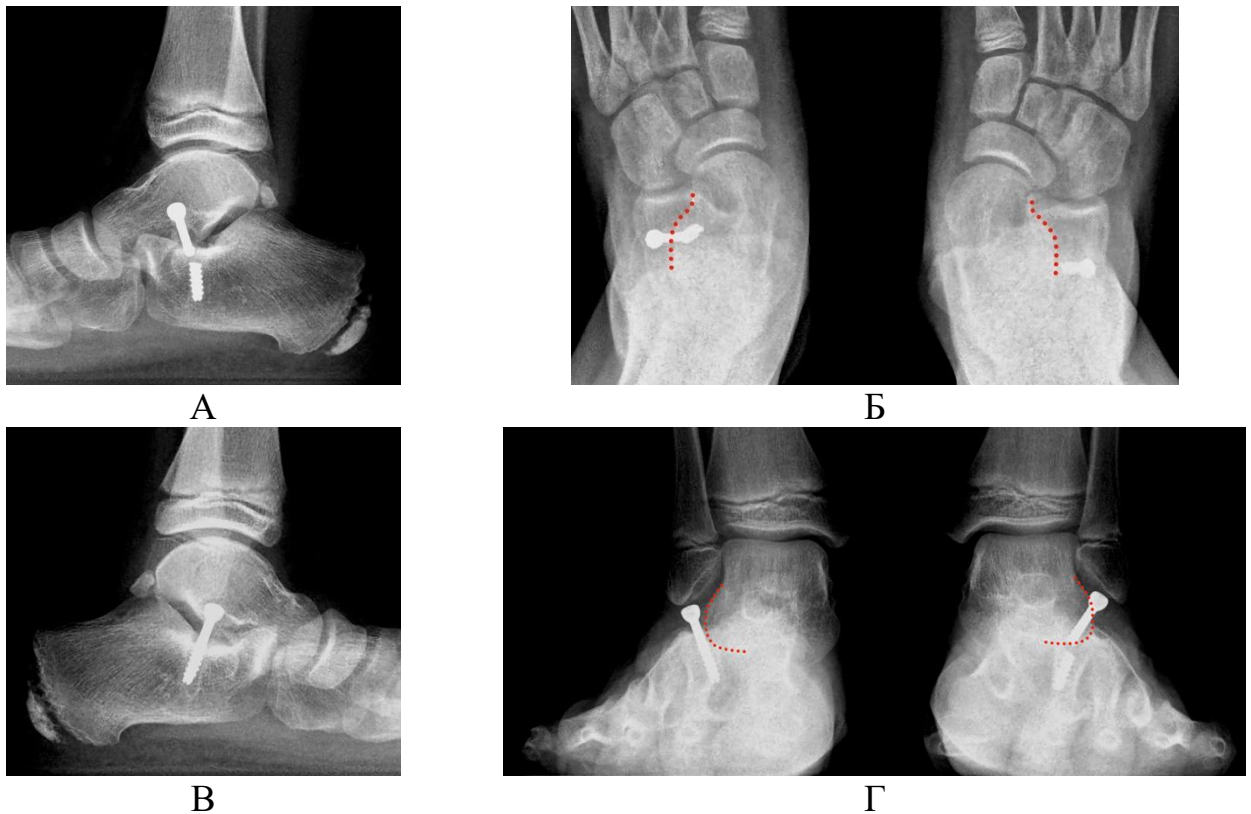
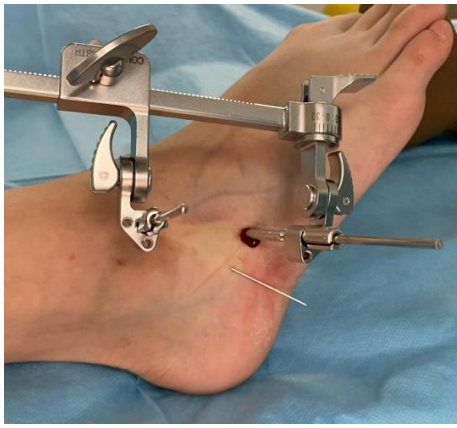


Рисунок 5.57. Клинический пример перелома винта в пяточной кости на левой стопе. Пунктирной линией отмечены границы латерального отростка таранной кости. А, В – боковые рентгенограммы; Б, Г – передне-задние рентгенограммы.

Как можно увидеть на рисунке 5.57, сломанный винт на передне-задней рентгенограмме стопы и на прямой рентгенограмме голеностопных суставов расположен кпереди от латерального отростка таранной кости. Нарушений целостности винта, который расположен кнаружи от латерального отростка не отмечается.

Из 9 случаев переломов винтов в таранной кости в 4 случаях у пациентов были тарзальные коалиции и артролиз подтаранного сустава был выполнен после резекции коалиции. В трех случаях во время установки винта было отмечено ограничение мобильности подтаранного сустава и мануально подтаранный сустав не выводился в положение «нулевой дивергенции». Соответственно в 7 случаях перелома винта в таранной кости для получения инверзионного положения стопы при установке металлоконструкции приходилось прилагать значительные усилия. В одном случае для выведения подтаранного сустава в положение необходимой дивергенции использовался дистрактор (рисунок 5.58).



А



Б



В

Рисунок 5.58. Установка винта в таранную кость при ограничении мобильности подтаранного сустава. А – использование дистрактора для выведения подтаранного сустава в положение «нулевой дивергенции»; Б, В – перелом винта у этого же пациента.

Как можно увидеть на рисунке 5.58, при ограничении мобильности в подтаранном суставе выведение его в положение максимальной инверзии для установки винта возможно с использованием вспомогательных средств. Однако, в таких ситуациях возникает чрезмерная нагрузка на металлоконструкцию и ее перелом. У данного пациента перелом винта наступил в течение 6 месяцев после операции.

У 6 пациентов, у которых отмечалось ограничение мобильности подтаранного сустава при установке винта, в течение 1 – 2 лет возникла импакция шляпки винта в пяточную кость, что привело к ограничению мобильности подтаранного сустава. После удаления винтов отмечалось незначительное или умеренное увеличение мобильности подтаранного сустава (рисунок 5.59).

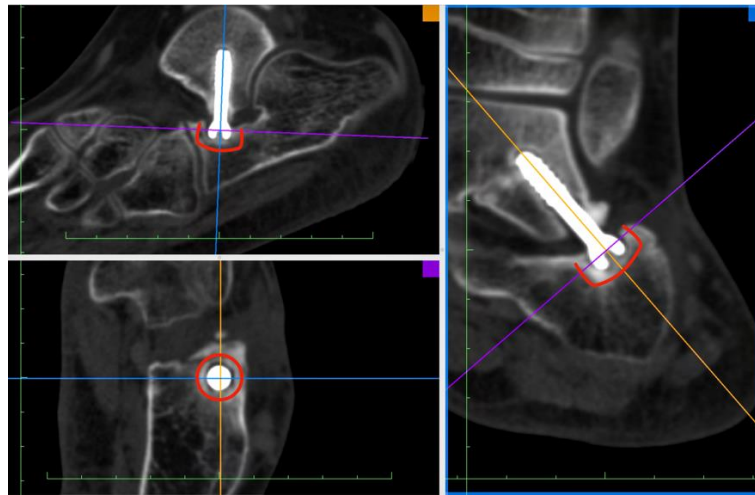


Рисунок 5.59. Импакция шляпки винта в пяточную кость при ограничении мобильности подтаранного сустава.

На рисунке 5.59 показано, что у пациента после резекции пяточно-ладьевидной коалиции и сохраняющемся после резекции ограничении мобильности подтаранного сустава с течением времени шляпка винта импактировалась в пяточную кость (зона импакции отмечена красным цветом). Это привело к еще большему ограничению мобильности подтаранного сустава вследствие формирования внесуставного артродеза. После удаления винта мобильность в подтаранном суставе частично восстановилась.

При анализе причин развития переломов металлоконструкции было выявлено, что направление смещения свободного фрагмента винта в большинстве случаев соответствует направлению движений подтаранного сустава. Движения в подтаранном суставе представляют собой ротацию и скольжение, поэтому свободный фрагмент винта в пяточной кости смещался в большей степени кпереди, а фрагмент винта в таранной кости – в большей степени кнаружи. Таким образом, основная причина развития перелома – это избыточная нагрузка при движении в подтаранном суставе. Вероятно, изначальное ограничение мобильности подтаранного сустава не позволяет имплантировать винт корректно и усугубляет текущие нагрузки при ходьбе. Также было отмечено, что у большинства пациентов с переломами металлоконструкций явления периимплантного лизиса были минимальными (рисунок 5.60).

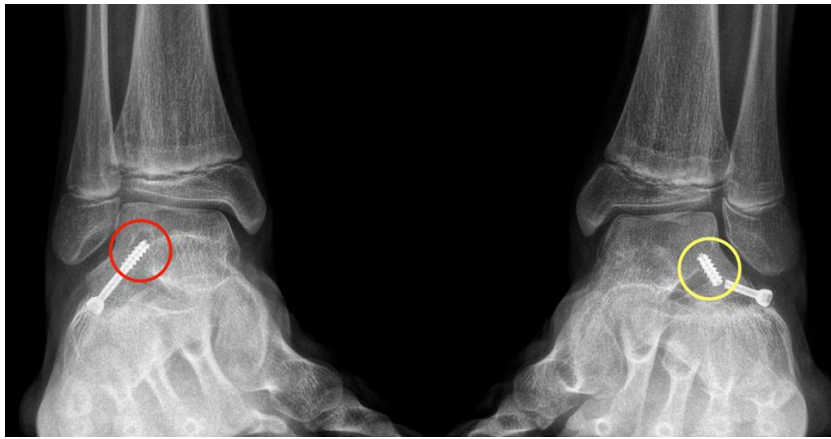


Рисунок 5.60. Отсутствие периимплантного лизиса на стороне перелома металлоконструкции (отмечено желтым цветом) и наличие периимплантного лизиса на контралатеральной стороне (отмечено красным цветом).

Как видно на рисунке 5.60, периимплантный лизис можно рассматривать как механизм компенсации чрезмерной нагрузки на винт – металлоконструкция под избыточной нагрузкой меняет свое положение, тем самым меняются силы, воздействующие на металлоконструкцию. Возможно, периимплантные кисты самостоятельно закрываются после перелома металлоконструкции, однако, большинство пациентов с переломами винтов обращались в течение нескольких недель-месяца после развития болевого синдрома, что снижает вероятность самостоятельного закрытия кисты ввиду недостаточного для этого времени.

При ретроспективном анализе случаев с переломами винтов в таранной кости было выявлено, что чаще всего винты находились на удалении от апекса латерального отростка таранной кости. Эта особенность повышает нагрузку на часть винта, находящуюся вне кости. Механическое воздействие на винт, расположенный вне кости, делает его рычагом II рода. При формировании периимплантной кисты винт становится рычагом I рода (рисунок 5.61).

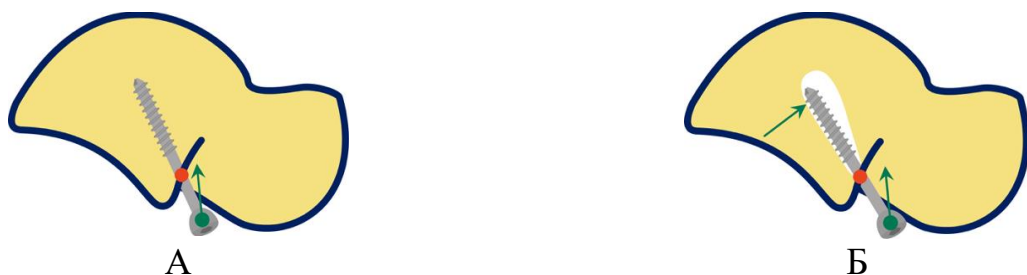


Рисунок 5.61. Род рычага при стабильном положении винта (А) и формировании периимплантной кисты (Б).

Как можно увидеть из рисунка 5.61А, при стабильном положении импланта силе приложения к винту (стрелка зеленого цвета) противодействует сила напряжения металла. Обе эти силы располагаются по одну сторону от точки опоры (круг красного цвета), что соответствует рычагу I рода. При формировании периимплантной кисты (рисунок 5.61Б), помимо всего, силе приложения к винту противодействует сила напряжения металла, развивающаяся при упоре винта в стенку кисты. Это снижает нагрузку на часть винта, находящуюся вне кости, и делает всю систему рычагом II рода.

Также к повышению вероятности перелома винта приводит увеличение длины плеча рычага – чем больше часть винта, на которую воздействует сила, находится вне кости, тем длиннее плечо рычага и тем меньшую силу нужно приложить для деформации и перелома металлоконструкции. В связи с этим для коррекции деформации стопы винт необходимо располагать ближе к апексу латерального отростка таранной кости, что требует более глубокой имплантации винта при сопоставимой степени коррекции. Помимо этого, вектор силы, воздействующей на шляпку винта, связан с движением пяточной кости в подтаранном суставе и направлен косо вверх. Расположение винта, соответствующее направлению этой силы, также снижает вероятность перелома металлоконструкции (рисунок 5.62).

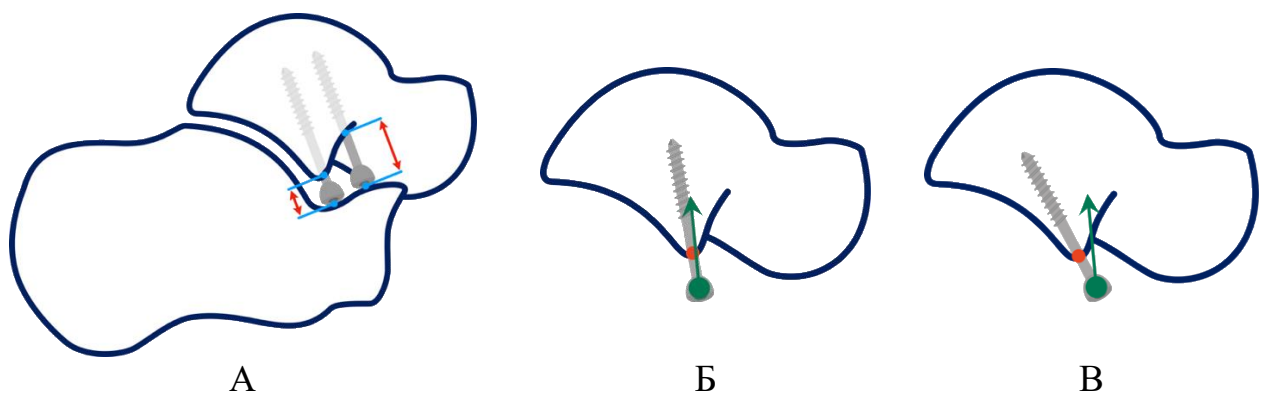


Рисунок 5.62. Биомеханические особенности установки винта в таранную кость. А – различия в глубине установки винта при удалении от апекса латерального отростка таранной кости; Б, В – вектор силы, воздействующей на винт при вертикальном (Б) и горизонтальном (В) расположении винта в таранной кости.

Как можно увидеть на рисунке 5.62А, при установке винта в области апекса латерального отростка таранной кости требуется его более глубокая имплантация. При смещении точки введения кпереди для достижения сопоставимой коррекции необходима менее глубокая имплантация, а это приводит к увеличению длины плеча рычага. При введении винта в области апекса латеральной лодыжки с ориентированием его на центр блока таранной кости сила, воздействующая на него (стрелка зеленого цвета), располагается в направлении, близком к продольной оси винта (рисунок 5.62Б). При горизонтализации винта сила, воздействующая на него, становится секущей и это повышает вероятность перелома металлоконструкции (рисунок 5.62В). Эти же правила действуют при ориентации винта во фронтальной плоскости. Все пациенты, у которых возникали переломы винта в таранной кости, были старше 12 лет и имели массу более 40 – 50 кг. Имплантация винтов с учетом вышесказанных особенностей позволила устанавливать винты пациентам старшего возраста и большей массы. Пример установки винта для минимизации риска его перелома приведен на рисунке 5.63.



Рисунок 5.63. Пример установки винта для снижения риска его перелома. А – рентгенограмма в боковой проекции; Б – рентгенограмма голеностопного сустава в проекции mortise. Красной пунктирной линией показаны границы латерального отростка таранной кости.

Как можно увидеть из рисунка 5.63, при установке винта близко к апексу латерального отростка таранной кости и ориентировании винта на центр блока таранной кости снижается вероятность перелома металлоконструкции, поскольку плечо рычага воздействия становится максимально коротким (из кости выступает

только шляпка винта), а направление винта примерно соответствует вектору силы воздействия на него. Подобная установка винтов строго соблюдалась у пациентов с избыточной массой тела. Самая большая масса пациента, которому винты были установлены подобным образом, составила 115 кг, срок наблюдения – 2 года, перелом металлоконструкции отсутствует.

Таким образом, переломы винтов после артроэреза подтаранного сустава связаны с избыточной нагрузкой на имплант. Изначальное ограничение мобильности подтаранного сустава повышает вероятность перелома винта после артроэреза подтаранного сустава винтом. Корректное позиционирование винта с учетом нагрузок, которые он испытывает, позволяет снизить вероятность перелома металлоконструкции.

5.1.4.5 Боли в области тарзального синуса

Для оценки частоты встречаемости болевого синдрома после артроэреза подтаранного сустава осуществлен сбор жалоб и оценка данных клинического осмотра. Было выявлено, что у 86,9% пациентов после артроэреза подтаранного сустава были жалобы на боли в области тарзального синуса при его пальпации. При этом, при анализе жалоб отмечалось, что в повседневной жизни жалобы на боли в области тарзального синуса предъявляли 27 пациентов из 67 после артроэреза подтаранным имплантом. Для определения вероятности развития болевого синдрома в зависимости от вида артроэреза подтаранного сустава была составлена Лог-линейная регрессионная модель. Предикторами были: боли в области тарзального синуса и вид артроэреза подтаранного сустава; опорные уровни: вид артроэреза – имплант, боль в области тарзального синуса - есть. Показатели соответствия модели были следующие: $R^2_{McF}=0,90$; AIC 43,5; $\chi^2=173$; $df=5$; $p<0,001$. Взвешенные предельные средние приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Взвешенные предельные средние – «вид артроэреза - боль в области тарзального синуса» (n=223)

Предикторы				95% доверительный интервал	
Боль в области тарзального синуса	Вид артроэреза	Счетчики	SE	Нижняя	Верхний
есть	имплант	27,00	5,20	18,52	39,4
	винт calcaneus	7,00	2,65	3,34	14,7
	винт talus	12,00	3,46	6,81	21,1
нет	имплант	40,00	6,32	29,34	54,5
	винт calcaneus	46,00	8,54	38,04	51,8
	винт talus	91,00	10,44	80,34	95,5

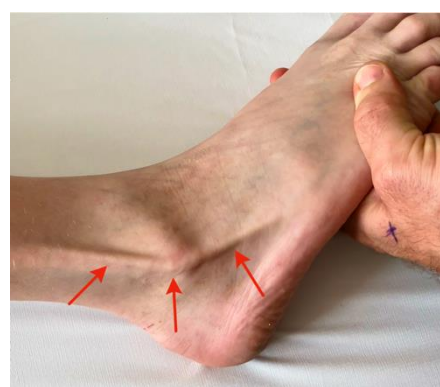
Как можно увидеть в таблице 5.12, чаще всего боли в тарзальном синусе отмечались после артроэреза подтаранным имплантом, реже всего боли встречались после артроэреза винтом в пяточную кость.

При оценке отношения рисков было выявлено, что артроэрез подтаранного сустава с использованием импланта увеличивает риск развития болей в тарзальном синусе в 27 раз ($OR=27,000$). Боли при использовании подтаранных имплантов встречались в 7 раз чаще, чем при использовании винтов в пяточную кость ($OR=7,039$) и в 6 раз чаще, чем при использовании винтов в таранную кость ($OR=6,131$).

Помимо болей в стопе после артроэреза подтаранного сустава встречался перонеальный спазм – напряжение малоберцовых мышц в покое, усиливающееся при пассивной инверзии стопы и ограничивающее ее (рисунок 5.64).



А



Б

Рисунок 5.64. Перонеальный спазм у пациентов после артроэреза подтаранного сустава (отмечен стрелками). А – при нормальной мобильности суставов предплюсны; Б – при ограничении пассивной инверзии.

Как видно на рисунке 5.64, у части пациентов с болью в стопе формируется перонеальный спазм – контурирование сухожилий малоберцовых мышц, усиливающееся при пассивной инверзии стопы. При этом, напряжение малоберцовых мышц может существенно не влиять на мобильность суставов предплюсны (рисунок 5.64А), а может значительно ограничивать пассивную инверзию стопы (рисунок 5.64Б). Для оценки влияния болевого синдрома на развитие перонеального спазма была создана модель Лог-линейной регрессии. Предикторы модели: боль в области тарзального синуса, перонеальный спазм. Показатели соответствия модели были следующие: $R^2_{McF}=0,90$; AIC 29,1; $\chi^2=318$; $df=3$; $p<0,001$. При расчете отношения рисков было выявлено, что боль в области тарзального синуса повышает риски развития перонеального спазма в 71 раз ($OR=70,948$). При составлении модели с предикторами: вид артроэреза подтаранного сустава, перонеальный спазм, показатели соответствия модели были следующие: $R^2_{McF}=0,87$; AIC 44,5; $\chi^2=111$; $df=5$; $p<0,001$, что также показывает значимое взаимное влияние указанных факторов. Исходя из указанной модели, риск развития перонеального спазма при использовании подтаранных имплантов выше примерно в 3,6 раза по сравнению с винтами ($OR_{\text{винт calcaneus-имплант}}=3,598$; $OR_{\text{винт talus-имплант}}=3,634$). График распределения пациентов в зависимости от наличия болей в области тарзального синуса, перонеального спазма и вида артроэреза приведен на рисунке 5.65.

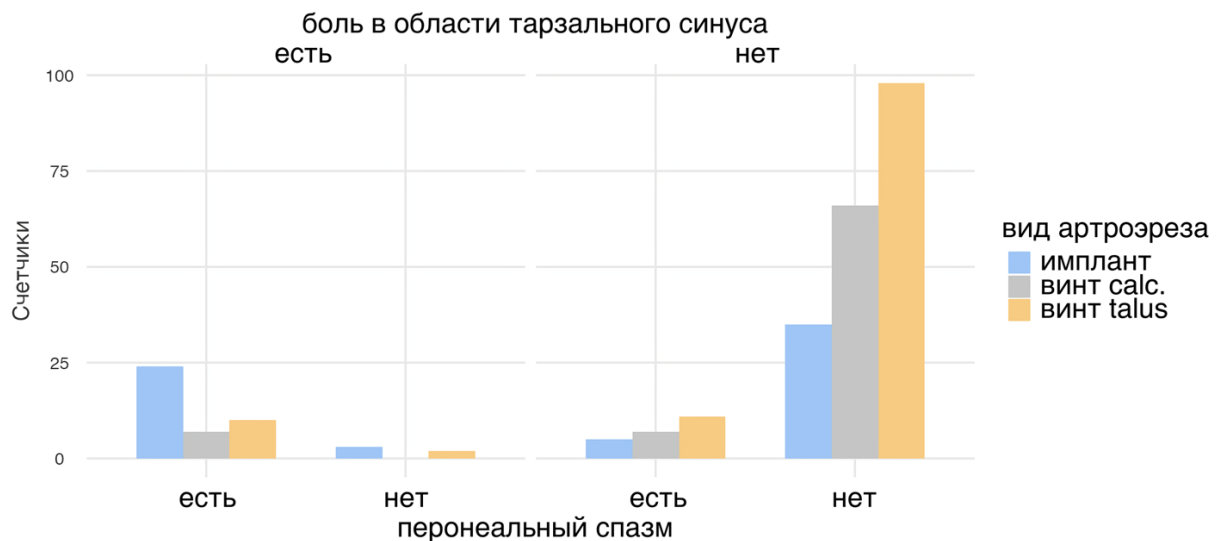


Рисунок 5.65. График распределения пациентов по перонеальному спазму, болям в области тарзального синуса и виду артроэреза подтаранного сустава (n=223).

Как видно на рисунке 5.65, большая часть пациентов с перонеальным спазмом испытывала боли в области тарзального синуса. Перонеальный спазм чаще всего встречался после использования подтаранных имплантов и реже всего – винтов в пяточную кость. Исходя из полученных данных следует, что развитие перонеального спазма является вторичным к болям в области тарзального синуса стопы.

При наличии стойкого болевого синдрома выполнялось удаление блокирующих винтов и подтаранных имплантов. Необходимо отметить, что в группе пациентов с подтаранными имплантами болевой синдром полностью регрессировал после удаления импланта лишь в 36% случаев, из них повторные вмешательства потребовались 14% пациентов (дебридмент, подтаранный артродез). У пациентов в использовании блокирующих винтов болевой синдром полностью регрессировал в 88% случаев. Повторные вмешательства потребовались у двух пациентов.

Таким образом, боль в области тарзального синуса является частым осложнением после артроэреза подтаранного сустава. Пациенты с подтаранными имплантами чаще предъявляют жалобы на боли в области тарзального синуса в повседневной жизни. Напротив, пациенты с использованием блокирующих винтов в большинстве предъявляют жалобы на боли в области тарзального синуса лишь при пальпации данной области, а в повседневной жизни боли у этих пациентов встречаются редко.

5.1.5 Сравнительный анализ различных вариантов артроэреза

Для оценки изменений по основным рентгенометрическим и клиническим параметрам стоп у пациентов после выполнения различных вариантов артроэреза подтаранного сустава проведен сравнительный анализ исследуемых показателей после проведения хирургического лечения (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Величина основных клинико-рентгенологических параметров стоп у пациентов после артроэреза подтаранного сустава (n=223)

Клинические и рентгенологические параметры	Вариант артроэреза подтаранного сустава			p
	Винт в пяточную кость	Винт в таранную кость	Подтаранный имплант	
Передне-задний угол Meary/°	8,8 (4,1; 13,6)	2,0 (-3,9; 7,5)	2,2 (-4,7; 3,2)	<0,05
Передне-задний угол Kite/°	29,4 (23,8; 34,7)	25,7 (21,7; 32,3)	15,4 (10,8; 16,8)	<0,05
Угол латерального смещения ладьевидной кости/°	21,0 (11,6; 30,1)	9,7 (2,4; 20,50)	8,2 (1,9; 13,2)	<0,05
Угол приведения переднего отдела/°	21,0 (18,4; 24,6)	21,3 (18,9; 27,0)	21,0 (17,9; 25,5)	0,417
Латеральный угол Kite/°	47,5 (40,8; 53,2)	42,4 (38,5; 46,1)	26,9 (18,9; 43,2)	<0,05
Латеральный угол Meary/°	14,5 (11,1; 18,3)	9,10 (3,9; 15,2)	8,7 (3,6; 16,5)	<0,05
Угол наклона пяточной кости/°	12,7 (8,8; 17,6)	14,2 (11,8; 17,3)	13,9 (11,2; 18,2)	0,120
Таранно-пяточное соотношение/ %	33,3 (26,1; 43,9)	25,4 (17,6; 31,3)	15,7 (4,3; 28,6)	<0,05
Таранно-большеберцовый угол/°	58,5 (54,6; 62,5)	67,1 (61,1; 70,4)	65,2 (59,7; 71,5)	0,045
Угол продольного свода рентгенологический/°	148,8 (142,75; 152,68)	144,9 (141,3; 149,1)	145,1 (140,3; 148,8)	0,040
Угол тарзального синуса/°	20,5 (14,8; 32,1)	39,3 (33,7; 46,2)	-	<0,05
Угол Dahle/°	128,3 (121,9; 132,5)	138,4 (134,2; 143,1)	142,1 (131,6; 144,5)	<0,05
Подометрический индекс Фридланда/°	27,3 (26,0; 29,3)	26,3 (24,9; 27,5)	27,7 (24,4; 28,9)	0,135
Вальгус заднего отдела/°	10,3 (6,5; 11,7)	8,7 (3,9; 12,2)	4,1 (3,1; 12,4)	0,043

Как можно отметить из таблицы 5.13, по большинству клинико-рентгенологических параметров стоп отмечались статистически значимые различия в зависимости от метода артроэреза (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$). При проведении post-hoc теста (DSCF тест) получены значимые различия в большей степени между группами «подтаранный имплант» и «винт в пяточную кость». Различия по большинству параметров между группами «винт в таранную кость» и «винт в пяточную кость» были аналогичными с незначительным уменьшением показателей W-статистики (таблица 5.14).

Таблица 5.14 – Значимые различия при попарных сравнениях Dwass-Steel-Critchlow-Fligner

Клинические и рентгенологические параметры	Попарные сравнения	W-статистика
Передне-задний угол Meary	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-7,309
Передне-задний угол Meary	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	-5,908
Передне-задний угол Kite	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-12,503
Передне-задний угол Kite	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	-3,102
Передне-задний угол Kite	винт в таранную кость- подтаранный имплант	-1,905
Угол латерального смещения ладьевидной кости	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-8,302
Угол латерального смещения ладьевидной кости	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	-4,108
Латеральный угол Kite	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-11,909
Латеральный угол Kite	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	-4,501
Латеральный угол Kite	винт в таранную кость – подтаранный имплант	-2,885
Латеральный угол Meary	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-6,301
Латеральный угол Meary	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	-3,111
Таранно-пяточное соотношение	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-13,404
Таранно-пяточное соотношение	винт в таранную кость – подтаранный имплант	-2,478
Таранно-пяточное соотношение	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	-4,322
Угол тарзального синуса	винт в пяточную кость – винт в таранную кость	7,402
Вальгус заднего отдела	винт в пяточную кость – подтаранный имплант	-2,108

Как можно видеть в таблице 5.14, самые существенные различия в величине коррекции деформации стопы (по величине W-статистики) были отмечены между группами пациентов, которым был выполнен артрорез подтаранным имплантом и винтом в пяточную кость. Артрорез винтом в пяточную кость показал самый низкий потенциал коррекции по сравнению с другими видами артрореза.

Максимальный потенциал коррекции имеет артрорез подтаранным имплантом. При попарном сравнении артрореза подтаранным имплантом и винтом в таранную кость значимые различия были отмечены по следующим параметрам: передне-задний угол Kite, латеральный угол Kite, таранно-пяточное соотношение. Таким образом, при артроэре имплантом подтаранный сустав занимает более инверзионное положение.

Максимальным потенциалом коррекции обладал артрорез с использованием подтаранных имплантов. При сравнении блокирующих винтов использование в таранной кости показало больший корригирующий потенциал. Клинический пример разной величины коррекции при использовании двух вариантов блокирующих винтов у одного и того же пациента приведен на рисунке 5.66.



Рисунок 5.66. Клинический пример. Пациент С., 13 лет. Красными линиями показано соотношение осей I плюсневой и таранной кости, желтыми линиями показана высота расположения ладьевидной кости. А – рентгенограмма стопы с установленным в пяточную кость блокирующим винтом; Б – рентгенограмма стопы, выполненная на следующий день после переустановки блокирующего винта в таранную кость в связи с недостаточной коррекцией деформации стопы.

Как можно увидеть из рисунка 5.66, винт в таранную кость имеет больший потенциал коррекции. Данный пациент был госпитализирован в связи с неполной коррекцией деформации стопы после введения винта в пяточную кость (рисунок 5.66А). Было принято решение выполнить переустановку винта из пяточной кости в таранную кость. На вторые сутки после хирургического лечения пациент был вертикализирован и выполнена контрольная рентгенография для оценки степени коррекции деформации (рисунок 5.66Б), на которой видно увеличение угла свода стопы, а также нормализация латерального угла Meary.

5.1.6 Заключение

Сравнительный анализ различных методик артроэреза подтаранного сустава показал преимущества и недостатки каждого метода. Подтаранный имплант по сравнению с блокирующими винтами требует меньше всего мануальных навыков при его установке. Оригинальные методики использования блокирующих винтов предполагают их удаление через 2 – 3 года после операции. Вопрос удаления подтаранных имплантов дискуссионный, по полученным в ходе исследования данным также рекомендовано удаление подтаранных имплантов через 2 – 3 года после операции. В отличие от подтаранных имплантов, при использовании блокирующих винтов имеется риск перелома металлоконструкции. Возможности регулировки степени коррекции деформации при разных методах артроэреза также различны. Регулировка степени коррекции деформации при использовании подтаранного импланта предполагает его замену на имплант соответствующего размера. Более глубокое помещение импланта в область тарзального синуса несет риски повреждения структур тарзального синуса и развития стойкого болевого синдрома. Величина коррекции деформации при использовании блокирующего винта в пяточной кости обусловлена выбором точки имплантации. В связи с этим, регулирование степени коррекции при использовании винта в пяточной кости также затруднительно. Максимальными возможностями регулирования величины коррекции обладает блокирующий винт в таранной кости. При использовании винта в таранной кости величина коррекции регулируется путем более и менее глубокой установки металлоконструкции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С ПЛОСКОСТОПИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВМЕШАТЕЛЬСТВ НА КОСТЯХ СРЕДНЕГО И ЗАДНЕГО ОТДЕЛОВ СТОПЫ

6.1 Остеотомии пяточной кости

Из всех методов коррекции плоскостопия наиболее часто используются в клинической практике артрорез подтаранного сустава и удлиняющая остеотомия пяточной кости. Для коррекции плоскостопия посредством остеотомий были использованы различные варианты остеотомий пяточной кости. Остеотомии пяточной кости можно разделить на две группы: внутрисуставные остеотомии и внесуставные остеотомии. Удлиняющие остеотомии пяточной кости – это внутрисуставные остеотомии, поскольку плоскость сечения пяточной кости проходит через подтаранный сустав. В настоящем исследовании использовались два вида удлиняющей остеотомии пяточной кости – остеотомия Evans и Hintermann. Внесуставные операции были представлены остеотомиями бугра пяточной кости (операция Koutsogiannis). Остеотомии бугра пяточной кости были использованы для коррекции резидуального вальгуса заднего отдела стопы. Исходя из данных литературы и особенностей плотности пяточной кости у детей раннего возраста, остеотомии пяточной кости выполнялись у детей старше 12 лет [147]. Флексионная остеотомия медиальной клиновидной кости (операция Cotton) не использовалась как самостоятельный метод коррекции деформации, а выполнялась для коррекции элевационного положения I плюсневой кости после реконструкции заднего и среднего отделов стопы.

6.1.1 Удлиняющая остеотомия пяточной кости (операция Evans)

V.Mosca отметил, что оптимальным уровнем остеотомии пяточной кости является зона между медиальной и передней фасетками подтаранного сустава [147, 148]. Для верификации уровня остеотомии он предлагал внедрять элеватор в подтаранный сустав и определять уровень выполнения остеотомии. Данный

маневр может потребовать проведения дополнительных рентгенографий стопы, кроме того, внедрение элеватора в область подтаранного сустава в процессе хирургического вмешательства может привести к повреждению суставных поверхностей. С целью точного определения зоны сечения пяточной кости был разработан способ, заключающийся в определении уровня sustentaculum tali на передне-задней рентгенограмме стопы (патент РФ на изобретение «Способ определения уровня остеотомии пяточной кости при операции Эванса» №2676665, 09.01.2019). Методика определения уровня остеотомии изображена на рисунке 6.1.

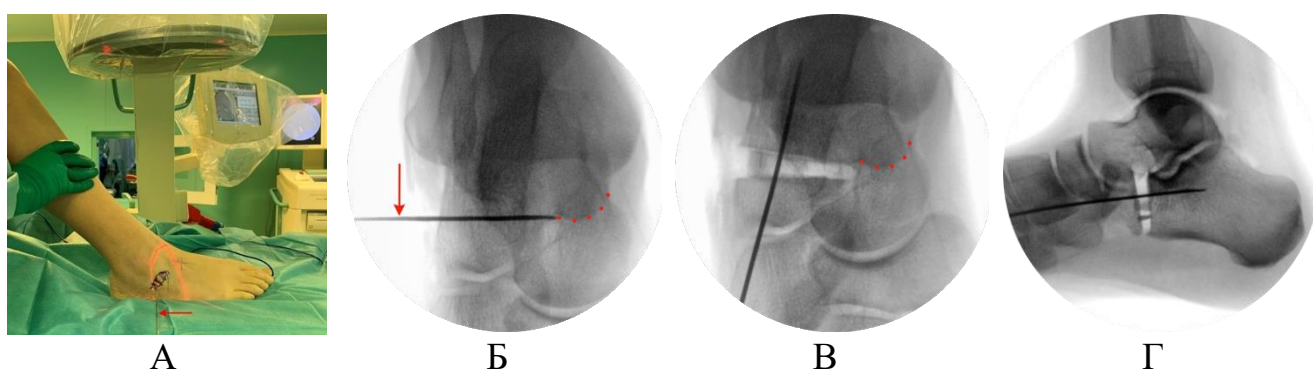


Рисунок 6.1. Методика определения уровня остеотомии пяточной кости при операции Evans (красными стрелками отмечена навигационная спица, красными точками отмечены передние границы sustentaculum tali);

А – рентгенографическая укладка при выполнении передне-задней проекции;

Б – расположение навигационной спицы; В, Г – рентгенография стопы после выполнения остеотомии.

Как можно увидеть на рисунке 6.1, для нормальной визуализации области медиальной фасетки необходимо подошвенное сгибание стопы (рисунок 6.1А), при таком положении подтаранный сустав не перекрывается костями голени и может быть визуализирована передняя граница sustentaculum tali (рисунок 6.1Б). При использовании навигационной спицы остеотомия пяточной кости осуществляется непосредственно перед sustentaculum tali (рисунок 6.1В), что позволяет выполнить сечение пяточной кости в промежутке между передней и медиальной фасетками подтаранного сустава.

Для определения соответствия визуализации переднего края sustentaculum tali реальным анатомическим особенностям было проведено сравнительное исследование (n=21), заключающееся в определении расстояния между пяточно-кубовидным суставом и передним краем sustentaculum tali. Методика измерения изображена на рисунке 6.2.

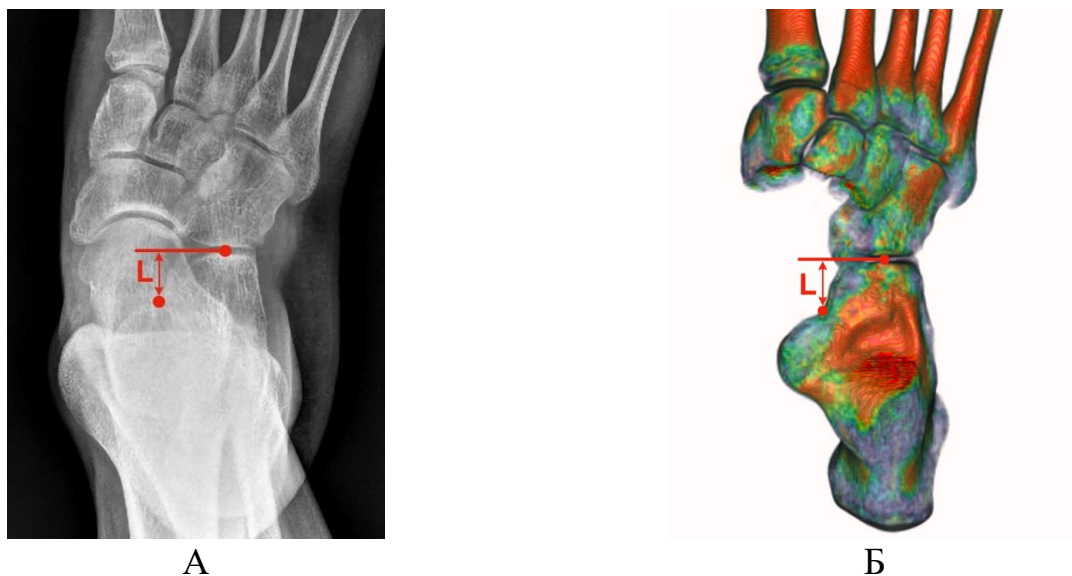


Рисунок 6.2. Методика измерения расстояния между пяточно-кубовидным суставом и передним краем sustentaculum tali. А – по рентгенограмме стопы в передне-задней проекции в положении максимального подошвенного сгибания; Б – по 3D рендерингу компьютерной томографии.

На рисунке 6.2 показано, первая точка устанавливалась в области переднего края sustentaculum tali, вторая точка – по центру пяточно-кубовидного сустава. Из второй точки проводилась линия, перпендикулярная оси пяточной кости, а от нее – перпендикуляр до первой точки, по которому измерялось расстояние (L).

При сравнении полученных результатов между двумя группами (рентгенография и КТ), статистически значимых различий получено не было (тест Brunner-Munzel; -0,694; $p=0,556$). Графическое отображение распределения измерений между группами приведено на рисунке 6.3.

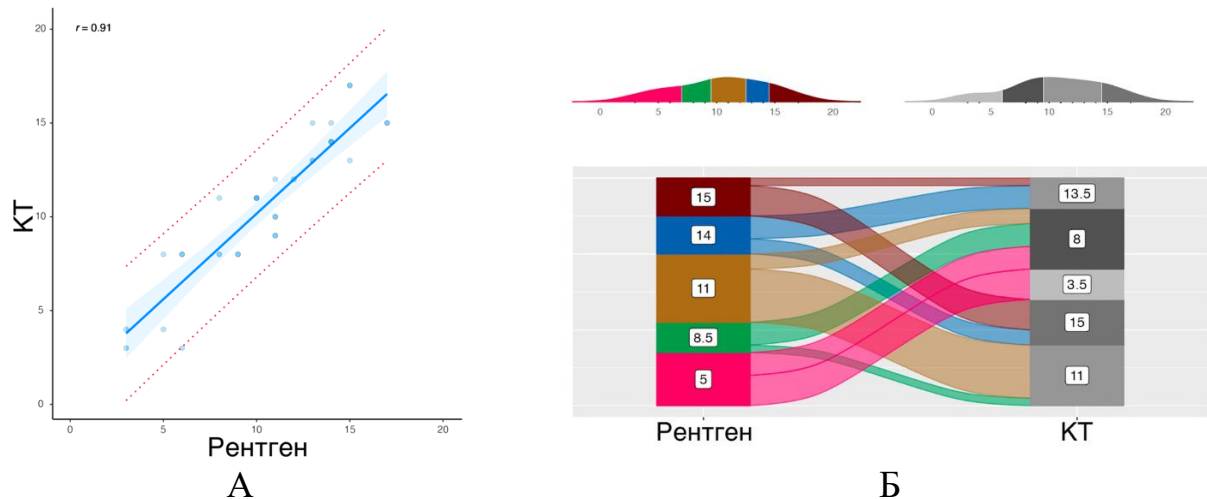


Рисунок 6.3. Распределение измерений расстояния между пяточно-кубовидным суставом и передним краем sustentaculum tali по передне-задним рентгенограммам и КТ (n=21). А – регрессионная модель; Б – аллювиальная диаграмма.

Как можно увидеть на рисунке 6.3, определение положения переднего края sustentaculum tali по рентгенограммам является точным методом ($r=0,914$; $R^2=0,835$; $p<0,001$), поскольку расстояние, характеризующее положение sustentaculum tali по рентгенограммам, с незначительной погрешностью соответствует этому же расстоянию, измеренному по КТ. Исходя из этих данных, для определения уровня остеотомии пяточной кости непосредственно перед sustentaculum tali можно использовать передне-заднюю рентгенографию.

Для определения влияния уровня остеотомии пяточной кости на потенциал коррекции было проведено исследование, заключающееся в выполнении компьютерной томографии в первые несколько дней после операции и рентгенометрии через 1 год после операции (n=33). По компьютерной томографии и рентгенограммам определялась плоскость остеотомии по отношению к sustentaculum tali. Все пациенты были разделены на две группы – первая группа – корректное выполнение остеотомии пяточной кости (перед sustentaculum tali), вторая группа – остеотомия пяточной кости через sustentaculum tali (рисунок 6.4).

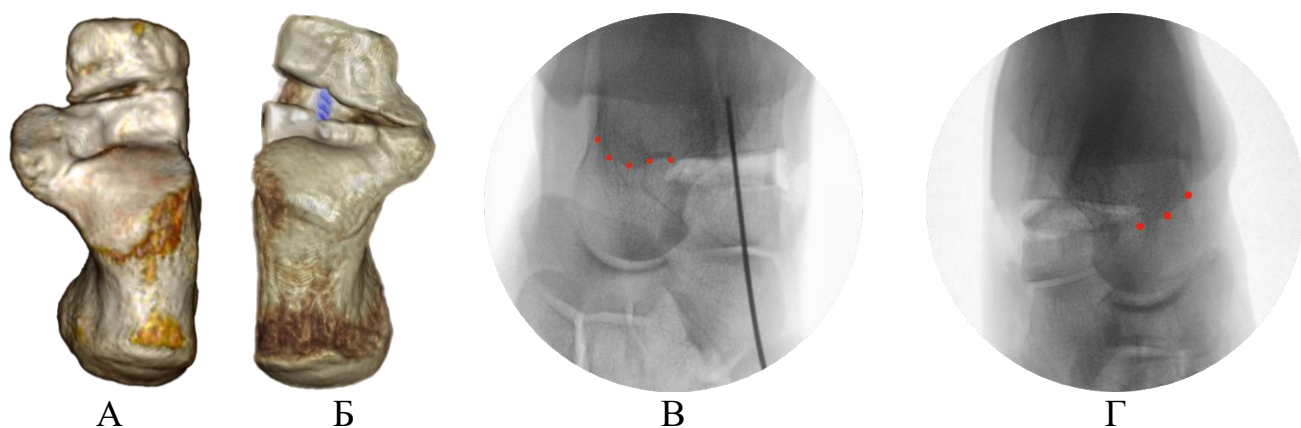


Рисунок 6.4. Примеры выполнения остеотомии пяточной кости по Evans между передней и медиальной фасетками (А, В) и через медиальную фасетку подтаранного сустава (Б, Г). На рентгенограммах красными точками отмечены передние границы sustentaculum tali.

Через 1 год после операции пациентам проводилось рентгенометрическое исследование, включающее анализ основных рентгенометрических показателей, который выявил различия по следующим показателям: угол латерального смещения ладьевидной кости (тест Brunner-Munzel; $p=0,014$), латеральный угол Meary (тест Brunner-Munzel; $p=0,021$), передне-задний угол Meary (тест Brunner-Munzel; $p=0,036$), и угол продольного свода (тест Brunner-Munzel; $p=0,029$). При анализе причин указанных различий было определено, что основные различия между двумя группами заключались в разном положении ладьевидных костей. При корректном выполнении остеотомии пяточной кости ладьевидная кость занимала положение большего плантарного и медиального смещения. При анализе полученных данных было выявлено, что различия в положении ладьевидной кости при выполнении остеотомии пяточной кости непосредственно перед sustentaculum tali и через sustentaculum tali обусловлены различным натяжением (лигаментотаксисом) пяточно-ладьевидной связки, поскольку разные варианты остеотомии пяточной кости выполняются на разном уровне по отношению к этой связке, а она, в свою очередь, имеет существенное влияние на положение ладьевидной кости (рисунок 6.5).

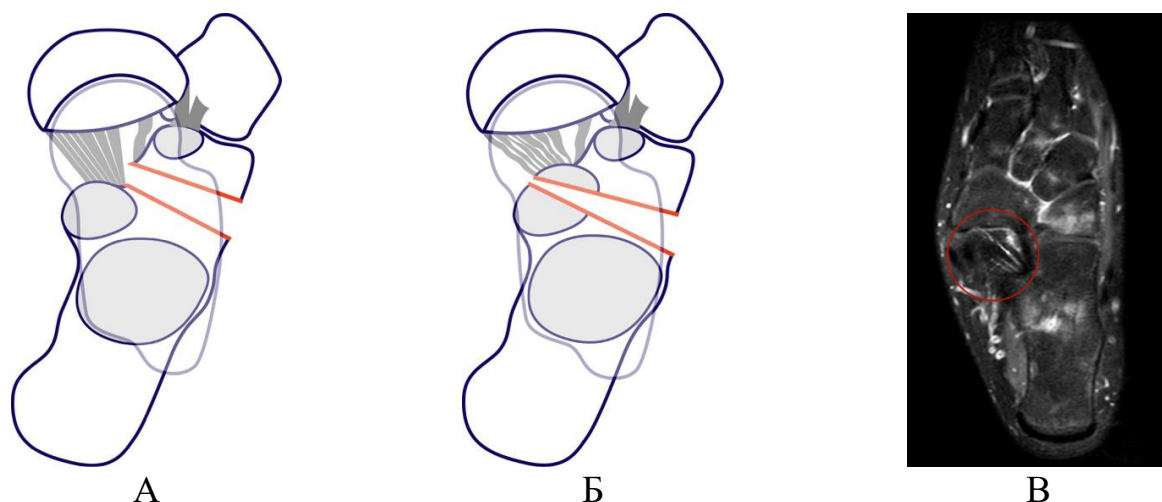


Рисунок 6.5. Схематичное изображение корректного (между передней и медиальной фасетками подтаранного сустава) (А) и некорректного (через sustentaculum tali) (Б) выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans; В – расположение волокон пяточно-ладьевидной связки на МРТ (отмечено красным кругом).

Как можно увидеть на рисунке 6.5А, при корректном выполнении удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans в лигаментотаксисе, обуславливающем медиальное и плантарное смещение ладьевидной кости, участвует большая часть пяточно-ладьевидной связки. При выполнении остеотомии пяточной кости через sustentaculum tali (рисунок 6.5Б) определенная часть пяточно-ладьевидной связки остается на дистальном фрагменте, что уменьшает корригирующий потенциал от лигаментотаксиса и обуславливает меньшую степень коррекции при выполнении остеотомии через медиальную фасетку подтаранного сустава.

Дистракция и внедрение в зону остеотомии костного трансплантата позволяет осуществить ротацию переднего отдела на уровне таранно-ладьевидного сустава, поскольку центр головки таранной кости является точкой ротации при удлиняющей остеотомии пяточной кости (рисунок 6.6).

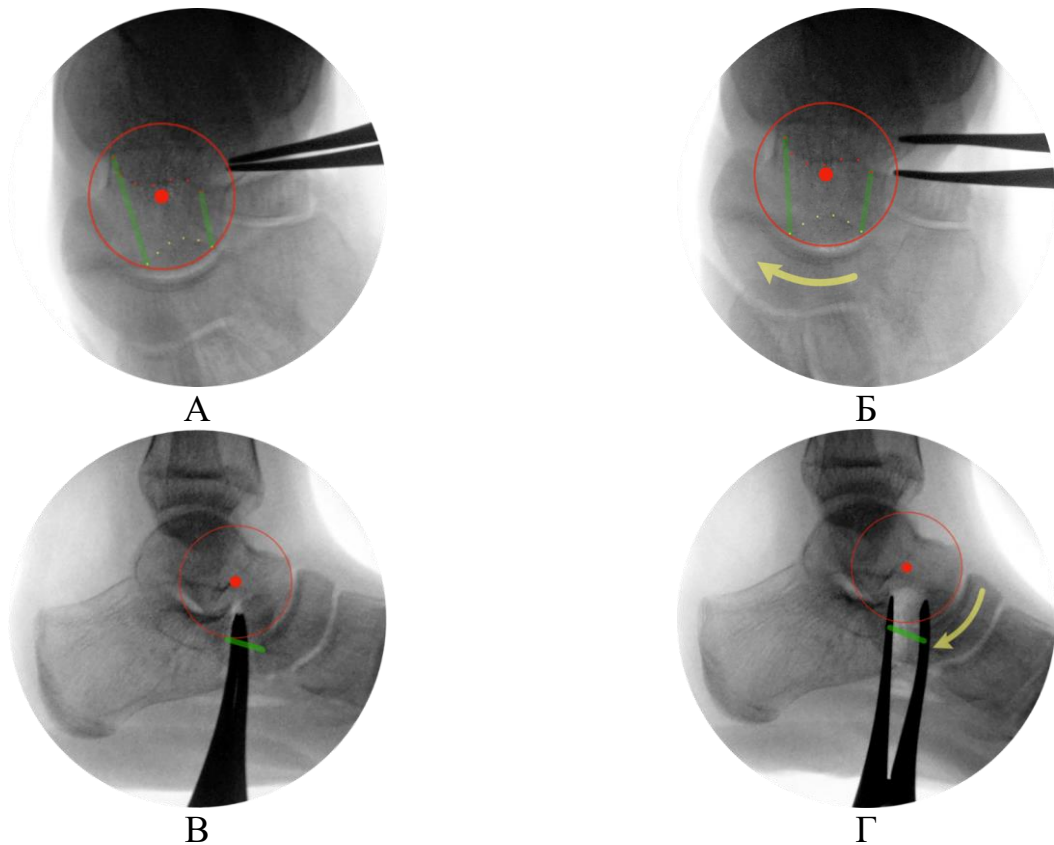


Рисунок 6.6. Изменение положения ладьевидной кости при дистракции зоны остеотомии переднего отростка пяточной кости. А, Б – передне-задняя рентгенограмма до и после осуществления дистракции; В, Г – боковая рентгенограмма до и после осуществления дистракции. Красным кругом отмечен контур головки таранной кости, красной точкой – центр головки таранной кости (центр ротации); зелеными линиями отмечены границы пяточно-ладьевидной связки; красная пунктирная линия – передняя граница sustentaculum tali; желтая пунктирная линия – плантарный край ладьевидной кости; стрелкой желтого цвета отмечено направление движения ладьевидной кости.

На рисунке 6.6 показано, что основная коррекция при удлиняющей остеотомии пяточной кости происходит на уровне таранно-ладьевидного сустава. Основная сила, способствующая смещению ладьевидной кости, – это натяжение пяточно-ладьевидной связки. В связи с этим, выраженное изменение конгруэнтности таранно-ладьевидного сустава (нарушение сферичности суставных поверхностей, выраженные дегенеративные изменения) может

существенно снизить потенциал коррекции деформации стопы при выполнении данного вида хирургического вмешательства.

Для оценки степени коррекции деформации стопы после удлинняющей остеотомии пяточной кости проведен анализ изменений основных клинорентгенологических параметров стоп у детей. Полученные данные приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Изменения основных рентгенологических показателей после операции Evans (N=46)

Рентгенологические показатели	До операции	Срок после операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Передне-задний угол Meary/ $^{\circ}$	17,8 (8,8; 24,9)	10,0 (4,5; 15,9)	10,4 (5,4; 14,2)	8,5 (7,4; 10,9)	10,7 (13,1; 16,8)
Передне-задний угол Kite/ $^{\circ}$	25,8 (19,3; 30,4)	30,2 (21,7; 33,3)	26,3 (20,2; 27,6)*	19,6 (14,1; 34,1)	28,2 (27,8; 32,6)
Угол латерального смещения ладьевидной кости/ $^{\circ}$	24,3 (18,9; 34,5)	21,9 (3,4; 25,3)	11,2 (5,6; 18,1)	6,2 (3,2; 23,5)	11,2 (7,7; 21,7)
Угол приведения переднего отдела/ $^{\circ}$	15,3 (11,5; 19,0)	13,7 (12,3; 20,7)	11,1 (6,7; 18,2)	12,0 (11,5; 23,9)	15,4 (8,1; 13,9)
Латеральный угол Kite/ $^{\circ}$	48,9 (42,4; 53,1)	50,6 (48,1; 55,7)	50,9 (48,4; 54, 6)	51,2 (45,9; 61,2)	55,1 (46,8; 58,1)
Латеральный угол Meary/ $^{\circ}$	25,3 (15,1; 28,7)	18,1 (15,8; 21,9)	6,3 (3,9; 12,3)	9,7 (8,3; 17,7)	12,6 (6,4; 11,2)
Угол наклона пяточной кости/ $^{\circ}$	9,4 (6,7; 13,8)	13,4 (9,9; 24,6)	23,1 (17,7; 28,1)	22,2 (17,9; 28,8)	23,6 (18,4; 28,4)
Таранно-пяточное соотношение/%	50,6 (38,0; 57,3)	44,5 (35,2; 61,5)	57,5 (43,4; 60,8)	40,3 (27,1; 61,6)	49,3 (45,8; 50,3)
Таранно-большеберцовый угол/ $^{\circ}$	55,2 (49,8; 60,9)	64,1 (47,2; 70,3)	67,3 (63,7; 72,9)	68,0 (61,2; 72,1)	60,6 (49,7; 58,8)
Угол продольного свода рентгенологический/ $^{\circ}$	158,3 (147,7; 160,9)	152,2 (134,8; 153,6)	137,7 (133,6; 140,5)	142,9 (129,7; 144,3)	141,9 (126,4; 138,7)
Угол тарзального синуса/ $^{\circ}$	22,5 (10,4; 16,9)	21,6 (15,8; 22,2)	26,5 (13,6; 31,8)	29,2 (15,0; 31,3)	23,3 (13,6; 37,6)

Из таблицы 6.1 следует, что самые существенные изменения после оперативного вмешательства были отмечены по следующим параметрам: передне-задний угол Meary, угол латерального смещения ладьевидной кости, латеральный угол Meary, угол наклона пяточной кости, таранно-большеберцовый угол, угол продольного свода рентгенологический. Изменения по большинству критериев имели статистическую значимость (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$) за исключением угла приведения переднего отдела, передне-заднего (значимые различия при проведении post-hoc теста на промежутке 6 месяцев – 1 год; DSCF тест; $p = 0,041$) и латерального угла Kite, а также угла наклона пяточной кости. Угол приведения переднего отдела не продемонстрировал существенных изменений на всех этапах наблюдения несмотря на удлинение латеральной колонны стопы. С другой стороны, рентгенометрические величины, характеризующие взаимное расположение таранной и пяточной костей (передне-задний угол Kite, латеральный угол Kite, таранно-пяточное соотношение) имели некоторую тенденцию к увеличению, т.е. демонстрировали ухудшение положения в подтаранном суставе. Динамика изменений основных рентгенометрических показателей на разных сроках наблюдения приведена на рисунке 6.7.

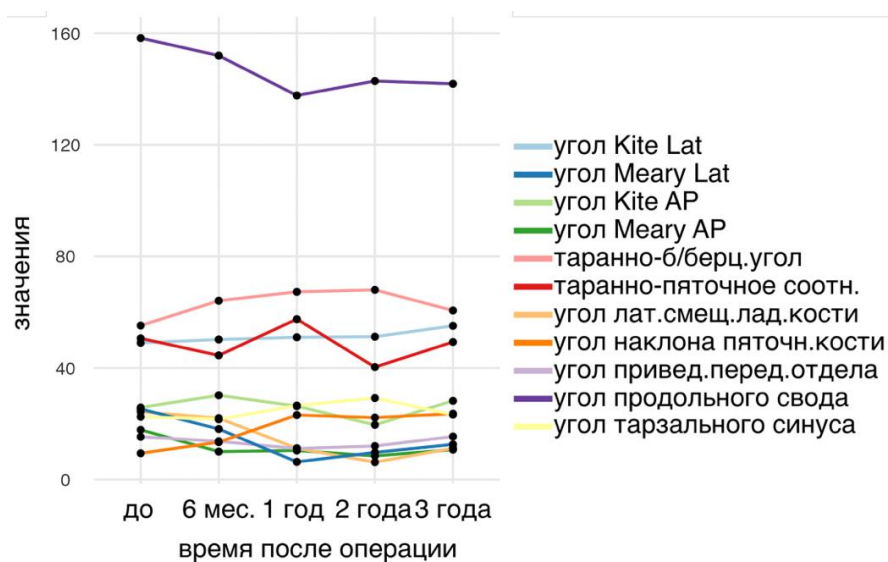


Рисунок 6.7. Динамика изменений основных рентгенометрических критериев на разных сроках после удлинняющей остеотомии пяточной кости (n=46).

Рисунок 6.7 показывает, что максимальные изменения большинства из значимых параметров, которые характеризовали коррекцию деформации стопы,

были отмечены лишь через 1 год после операции. Изменения передне-заднего угла Kite в виде его увеличения появились уже через 6 месяцев после операции, с другой стороны, максимальное значение латерального угла Kite было отмечено через 3 года после операции. Угол тарзального синуса продемонстрировал некоторое увеличение через 1 год после операции, затем было отмечено снижение. Величина таранно-пяточного соотношения характеризовалась нестабильными изменениями на разных сроках наблюдения без значимой тенденции к улучшению.

Полученные данные, характеризующие ухудшение положения в подтаранном суставе, послужили поводом для более детального анализа данного феномена. Для этого был проведен корреляционный анализ между показателями положения подтаранного сустава и основными рентгенометрическими величинами.

Таблица 6.2 – Корреляция Spearman между основными рентгенометрическими показателями и величинами, характеризующими положение подтаранного сустава после операции Evans (n=46)

Рентгенометрические показатели	Передне-задний угол Kite	Латеральный угол Kite	Таранно-пяточное соотношение	Угол тарзального синуса
Передне-задний угол Meary	0,531	0,007	0,289	-0,438*
Передне-задний угол Kite	1	0,103	0,036	-0,298
Угол латерального смещения ладьевидной кости	0,528**	-0,013	0,032	-0,102
Угол приведения переднего отдела	-0,169	-0,039	-0,262	0,258
Латеральный угол Meary	0,402*	0,087	-0,137	-0,061
Латеральный угол Kite	0,103	1	0,349	-0,271
Угол наклона пяточной кости	-0,033	0,721**	0,332	-0,320
Таранно-большеберцовый угол	-0,282	-0,303	0,025	-0,198
Таранно-пяточное соотношение	0,036	0,349	1	-0,467**
Угол продольного свода	-0,035	-0,626**	-0,448*	0,310
Угол тарзального синуса	-0,298	-0,271	-0,467**	1
*- корреляция значима на уровне 0,05; ** - корреляция значима на уровне 0,01				

Как можно отметить из таблицы 6.2, большинство связей между указанными рентгенометрическими величинами характеризовались слабой и умеренной связью. Большинство значимых связей могли быть логически

объяснены взаимным влиянием рентгенометрических величин при плоскостопии, т.е. уменьшение деформации по одним параметрам, приводит к уменьшению деформации по другим параметрам. Однако, были выявлены связи, которые нельзя было объяснить обычными паттернами взаимного влияния рентгенометрических величин при плоскостопии – увеличение деформации по одним параметрам приводило к уменьшению деформации по другим параметрам (в таблице отмечены жирным шрифтом). Из этих связей по 3 парам значимых параметров ($p < 0,05$ и $p < 0,01$) составлены графики линейной регрессионной модели (рисунок 6.8).

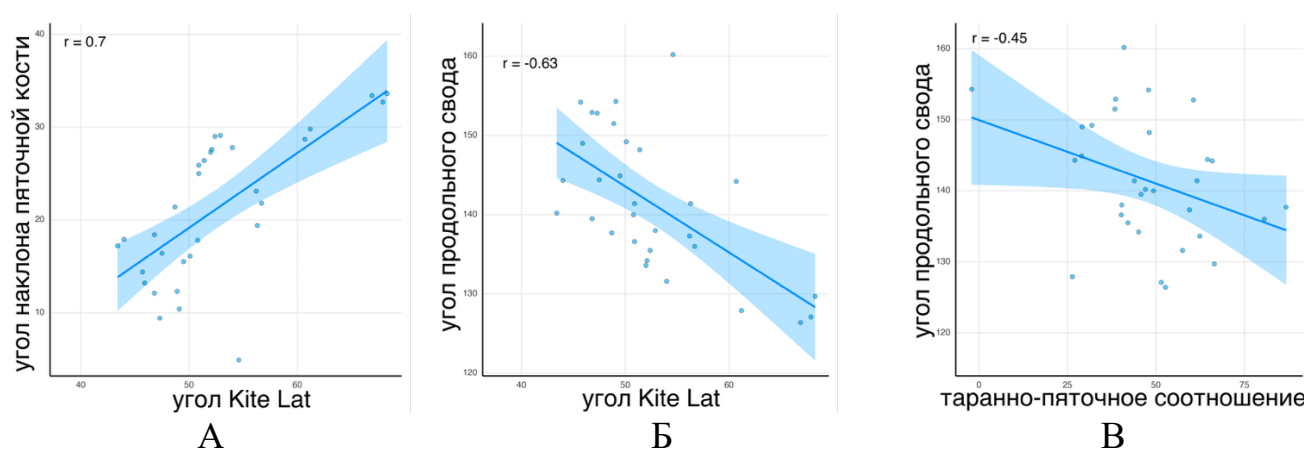


Рисунок 6.8. Графики линейной и квадратичной регрессионной модели между значимыми рентгенологическими критериями, противоречащими общим закономерностям взаимного влияния указанных величин при плоскостопии ($n=25$). А – угол наклона пяточной кости-латеральный угол Kite; Б – угол продольного свода- латеральный угол Kite; В – угол продольного свода- таранно-пяточное соотношение.

Как можно увидеть из рисунка 6.8, увеличение таранно-пяточного соотношения и латерального угла Kite, что характеризует увеличение деформации стопы, приводит к уменьшению рентгенологического угла продольного свода, свидетельствующему об уменьшении деформации. Клинически отсутствие коррекции на уровне подтаранного сустава проявляется сохранение вальгуса заднего отдела стопы. Пример отсутствия коррекции вальгуса заднего отдела стопы с увеличением высоты свода стопы после удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans приведен на рисунке 6.9.

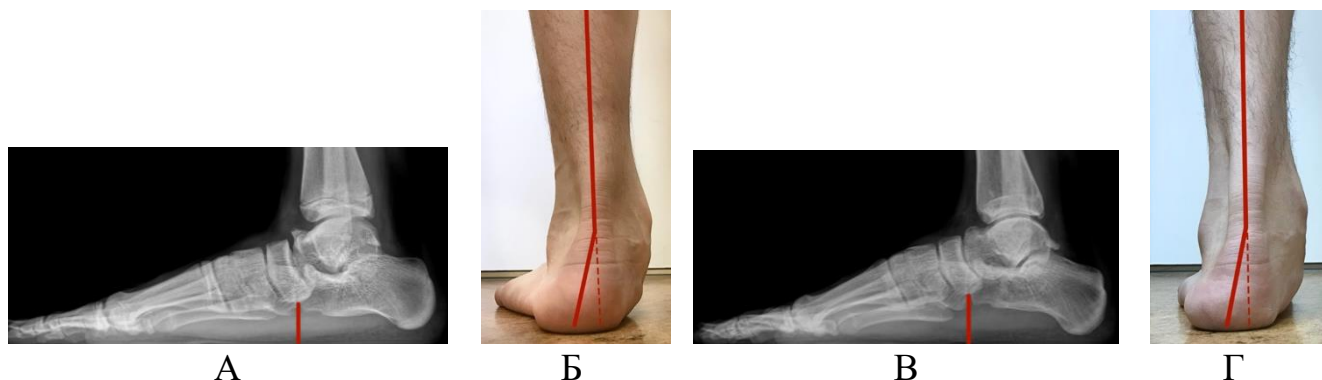


Рисунок 6.9. Клинический пример коррекции деформации стопы после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans. А, Б – рентгенограмма стопы (красная линия – высота ладьевидной кости) и фото заднего отдела стопы (красная линия – вальгус заднего отдела) до лечения; В, Г - рентгенограмма стопы (красная линия – высота ладьевидной кости) и фото заднего отдела стопы (красная линия – вальгус заднего отдела) после лечения.

Как можно отметить из рисунка 6.9, удлиняющая остеотомия пяточной кости по Evans увеличивает высоту свода стопы, однако не корригирует вальгус заднего отдела стопы.

Исходя из полученных данных можно отметить, что удлиняющая остеотомия пяточной кости не оказывает значимого положительного влияния на положение в подтаранном суставе. Более того, степень коррекции деформации стопы имеет прямую связь со степенью эверзионного положения подтаранного сустава. Схематичное изменение положения подтаранного сустава, обуславливающее динамику рентгенометрических показателей, изображено на рисунке 6.10.

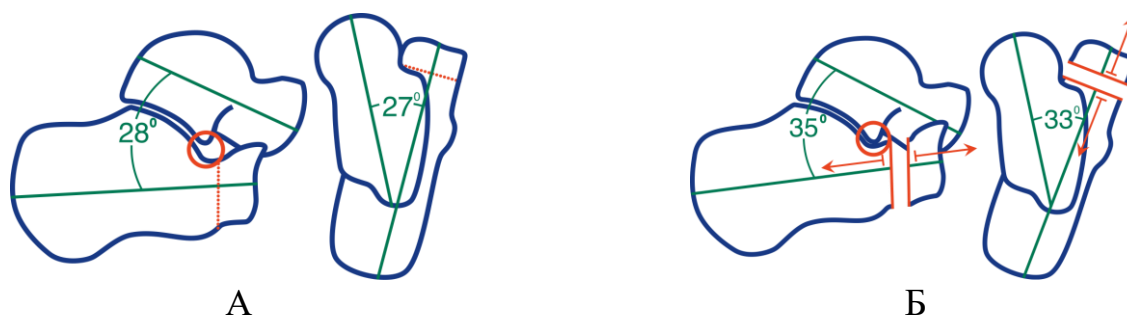


Рисунок 6.10. Изменение положения подтаранного сустава, обусловленное удлиняющей остеотомией пяточной кости. А – до удлинения пяточной кости; Б – после удлиняющей остеотомии пяточной кости.

Как можно увидеть из рисунка 6.10, при удлиняющей остеотомии пяточной кости (дистракции после выполнения остеотомии) векторы сил, обуславливающих удлинение латеральной колонны, разнонаправлены (стрелки красного цвета). Для смещения переднего отростка пяточной кости вентрально, проксимальный фрагмент должен занять ригидное положение. Это происходит при фиксации подтаранного сустава в положении максимальной эверзии. До выполнения дистракции в зоне остеотомии можно увидеть расстояние между латеральным отростком таранной кости и пяточной костью (рисунок 6.10А), которое отмечено красным кругом. После осуществления дистракции подтаранный сустав занимает положение максимальной эверзии, таким образом, что латеральный отросток таранной кости соприкасается с пяточной костью (рисунок 6.10Б) – отмечено красным кругом. Также на рисунке схематично отмечено увеличение передне-заднего и латерального угла Kite (линии зеленого цвета) после удлиняющей остеотомии пяточной кости. Кроме того, после фиксации подтаранного сустава в крайнем положении эверзии и увеличения угла таранно-пяточной дивергенции (угол Kite), дистракция осуществляется преимущественно по оси пяточной кости (рисунок 6.10Б) – стрелки красного цвета, указывающие векторы направления дистракции, располагаются параллельно оси пяточной кости, что приводит к смещению переднего отростка пяточной кости кверху.

С одной стороны, смещение переднего отростка пяточной кости кпереди обуславливает коррекцию деформации на уровне сустава Шопара за счет медиального и плантарного смещения ладьевидной кости. С другой стороны, проксимальный отдел пяточной кости смещается кзади, что обуславливает увеличение эверзионного положения подтаранного сустава. С этим связано увеличение угла наклона пяточной кости.

Для оценки изменений подометрических показателей произведено сопоставление коррекции клинических параметров плоскостопия на разных сроках наблюдения после удлиняющей остеотомии пяточной кости. Полученные данные приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Изменения основных клинических параметров стопы после удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans (n=46)

Клинические параметры стопы	До операции	После операции			
		6 месяцев	Через 1 год	2 года	3 года
Угол Dahle/°	126,00 (121,15; 132,20)	129,20 (122,60; 133,00)	141,10 (123,05; 147,25)*	133,25 (126,20; 140,80)*	134,80 (126,30; 145,70)*
Индекс Фридланда	24,70 (23,75; 25,40)	26,00 (24,60; 26,90)*	26,20 (26,05; 27,50)*	27,15 (25,80; 28,40)*	26,90 (26,20; 27,20)*
Вальгус заднего отдела/°	14,25 (11,60; 19,10)	13,90 (10,20; 15,30)	14,80 (12,50; 16,50)	12,20 (9,80; 14,90)	17,05 (13,30; 18,90)*

Из таблицы 6.3 видно, что клинические изменения после выполнения данного варианта артроэреза подтаранного сустава в большей степени касались изменений величины подометрического индекса Фридланда (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$). Значимые изменения угла продольного свода были отмечены лишь через 1 год после операции (значимые различия при проведении post-hoc теста на промежутке до операции – 1год; DSCF тест; $p < 0,05$). При оценке изменения вальгуса заднего отдела значимые изменения с исходным значением были отмечены лишь через 2 года после операции. При оценке выраженности вальгуса через 3 года после операции было отмечено значимое увеличение данного параметра.

Динамика клинических изменений после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости приведена на рисунке 6.11.

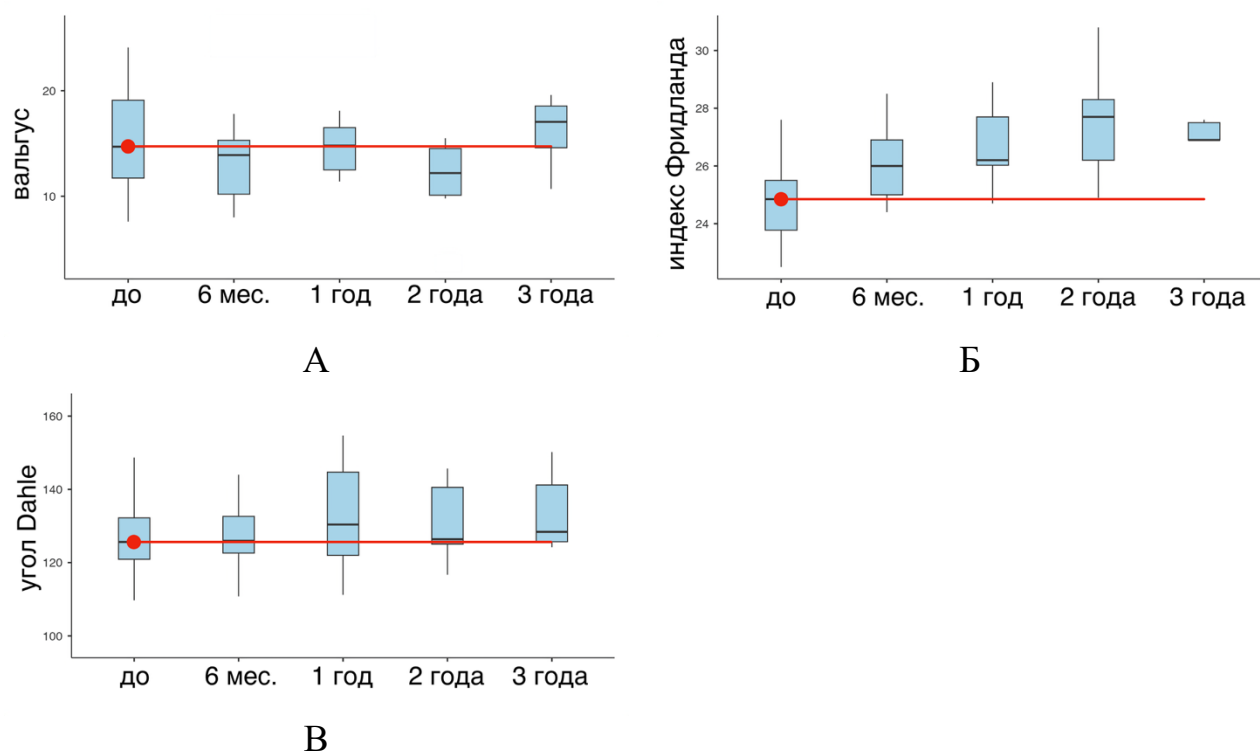


Рисунок 6.11. Динамика изменений основных подометрических величин после удлиняющей остеотомии пяточной кости (n=46). А – вальгус заднего отдела стопы; Б – подометрический индекс Фридланда; В – угол Dahle.

Как показано на рисунке 6.11, после проведенного хирургического вмешательства отмечалось улучшение по большинству подометрических критериев, из них самые значимые изменения – по индексу Фридланда. Вальгус заднего отдела после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans значимо не менялся. Пример изменения положения заднего стопы во время выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans приведен на рисунке 6.12.

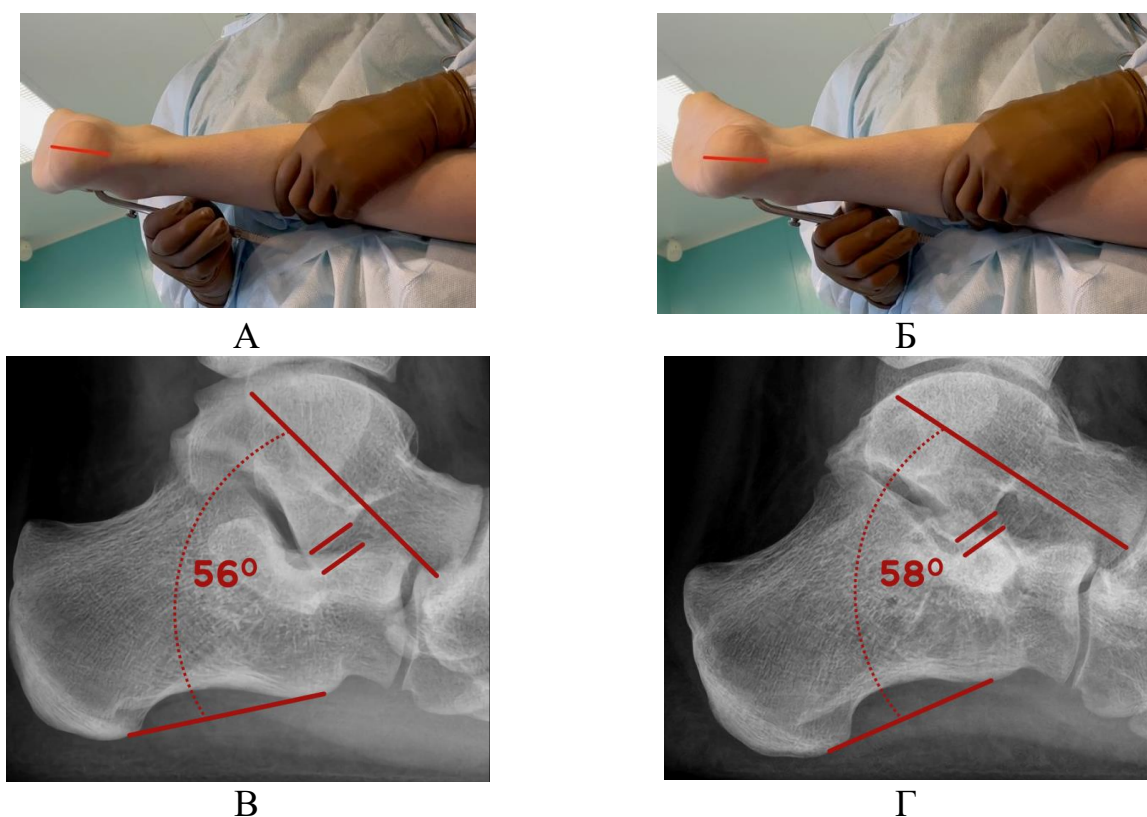


Рисунок 6.12. Клинический пример изменения положения заднего отдела стопы при выполнении удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans. А – до выполнения дистракции в зоне остеотомии; Б – после выполнения дистракции в зоне остеотомии; В – латеральный угол Kite и размер тарзального синуса (отмечен красными линиями) до выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости; Г – латеральный угол Kite и размер тарзального синуса после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости.

Как можно увидеть на рисунке 6.12 А, Б, вальгус заднего отдела после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости существенно не менялся или имел тенденцию к незначительному увеличению. Также можно отметить отсутствие коррекции эверзии подтаранного сустава после удлиняющей остеотомии пяточной кости (рисунок 6.12 В, Г), что демонстрируется незначительным увеличением латерального угла Kite и уменьшением размера тарзального синуса.

При оценке динамики изменения вальгуса заднего отдела стопы медианные значения данного параметра через 1 год после операции практически не отличались от исходных, а через 3 года после операции было отмечено его

увеличение. Указанные изменения клинических параметров стоп после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости соответствуют полученным рентгенологическим данным и свидетельствуют о сохранении эверзионного положения подтаранного сустава. Полученные данные обуславливают выполнение двойной остеотомии пяточной кости для коррекции всех компонентов деформации стопы (рисунок 6.13).

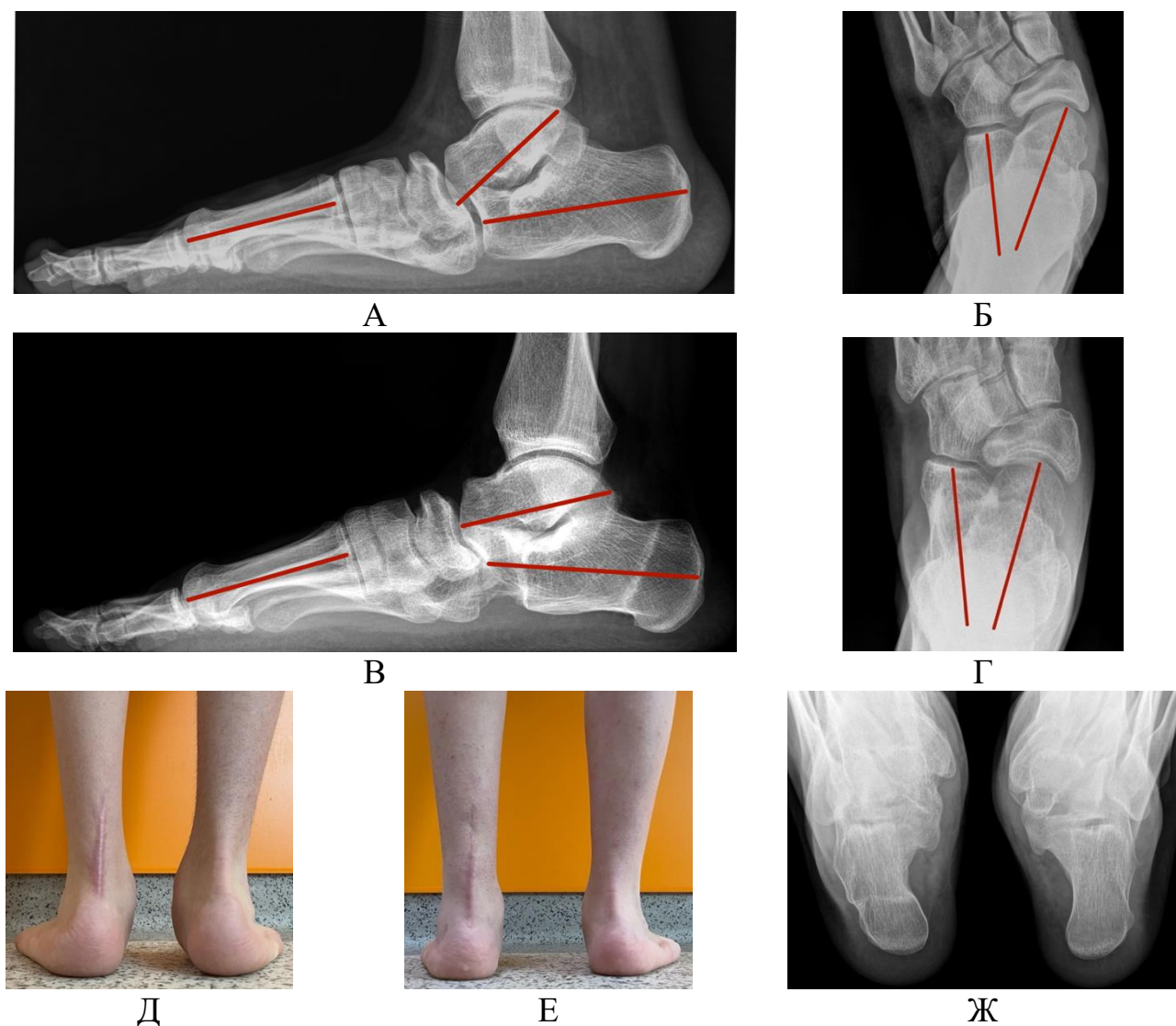


Рисунок 6.13. Клинический пример коррекции деформации стопы посредством выполнения двойной остеотомии пяточной кости. А, Б – боковая и передне-задняя рентгенограмма стопы до хирургического лечения; В, Г – боковая, передне-задняя рентгенограмма стопы после хирургического лечения; Д, Е – фото стоп до хирургического лечения и после реконструкции левой стопы, Ж – аксиальная рентгенограмма бугров пяточных костей. Красными линиями обозначены оси таранной, пяточной и I плюсневой кости.

На рисунке 6.13 показано, что после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости улучшилось положение переднего отдела (нормализация угла Meary) и не изменилось положение подтаранного сустава (сохранение угла Kite на исходном уровне). Коррекция вальгуса заднего отдела была достигнута путем выполнения медиализирующей остеотомии пяточной кости.

В литературе при описании результатов операции Evans часто упоминается специфическое осложнение – тыльное смещение переднего отростка пяточной кости и плантарный подвывих кубовидной кости. С целью оценки изменения положения переднего отростка пяточной кости, а также соотношений в пяточно-кубовидном суставе после удлиняющей остеотомии пяточной кости были разработаны рентгенометрические параметры, которые изображены на рисунке 6.14.

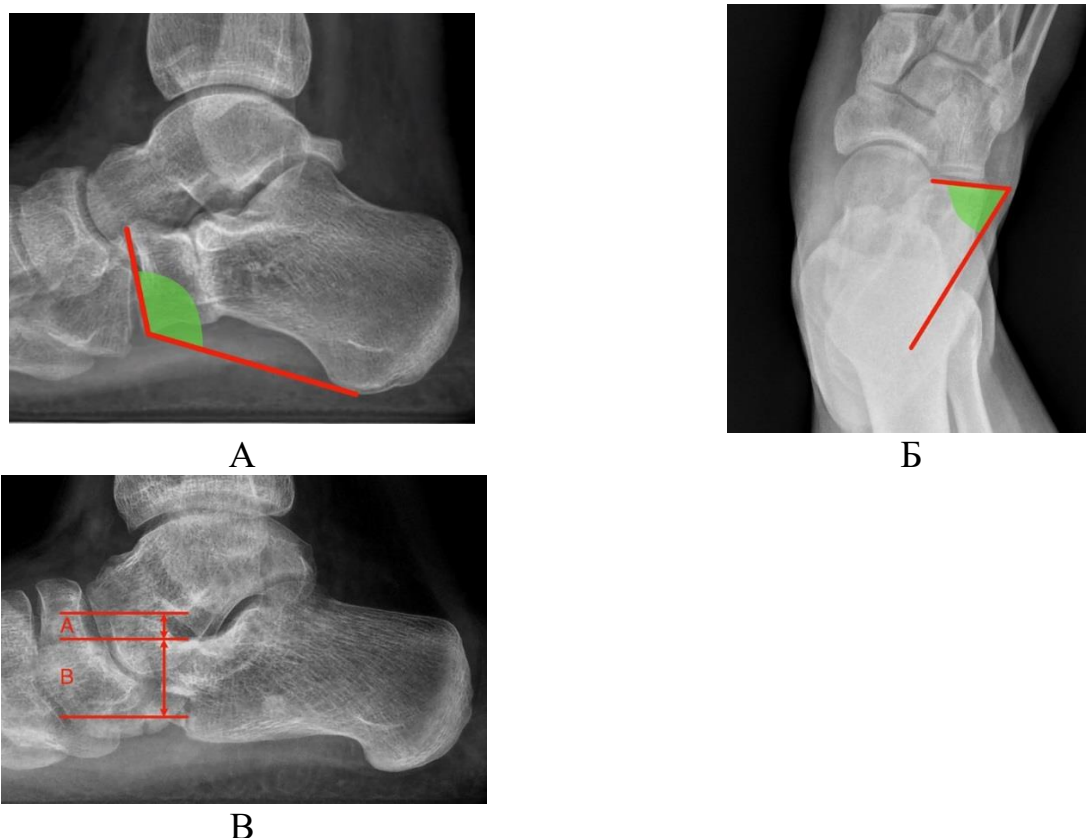


Рисунок 6.14. Рентгенологические параметры расположения суставной поверхности переднего отростка пяточной кости в боковой (А) и передне-задней проекции (Б), а также соотношение в пяточно-кубовидном суставе в боковой проекции (В).

Для оценки угла наклона суставной поверхности переднего отростка пяточной кости были разработаны следующие параметры: угол наклона суставной поверхности переднего отростка пяточной кости в боковой проекции (рисунок 6.14А). Данный угол на боковой рентгенограмме стопы образован линией, проведенной по нижним точкам бугра и переднего отростка пяточной кости, а также линией, соответствующей щели пяточно-кубовидного сустава. Угол наклона суставной поверхности переднего отростка пяточной кости в передне-задней проекции (рисунок 6.14Б) образован линией, проведенной по точкам, соответствующим латеральному краю пяточной кости, а также линией, соответствующей расположению щели пяточно-кубовидного сустава. Учитывая особенность анатомии пяточно-кубовидного сустава (изгиб линии сустава в тыльной и медиальной части), размещение точек для проведения линии сустава было следующим: на боковых рентгенограммах – самая нижняя точка суставной поверхности и точка, находящаяся на $2/3$ расстояния до верхней точки суставной поверхности; на передне-задних рентгенограммах – самая латеральная точка суставной поверхности и точка, находящаяся на $2/3$ расстояния до медиальной точки суставной поверхности. Для оценки степени плантарного смещения ладьевидной кости (рисунок 6.14В) проводились 3 горизонтальные линии, параллельные плоскости опоры, соответствующие нижнему краю переднего отростка пяточной кости в области пяточно-кубовидного сустава, верхнему краю переднего отростка пяточной кости, а также верхнему краю кубовидной кости. Степень плантарного смещения кубовидной кости рассчитывалась в процентах от размера суставной поверхности переднего отростка пяточной кости в пяточно-кубовидном суставе: $A/B \times 100\%$.

Пациентам, у которых была выполнена удлиняющая остеотомия пяточной кости, был проведен анализ данных рентгенометрических критериев на разных сроках наблюдения. Динамика изменения исследуемых параметров приведена на рисунке 6.15.

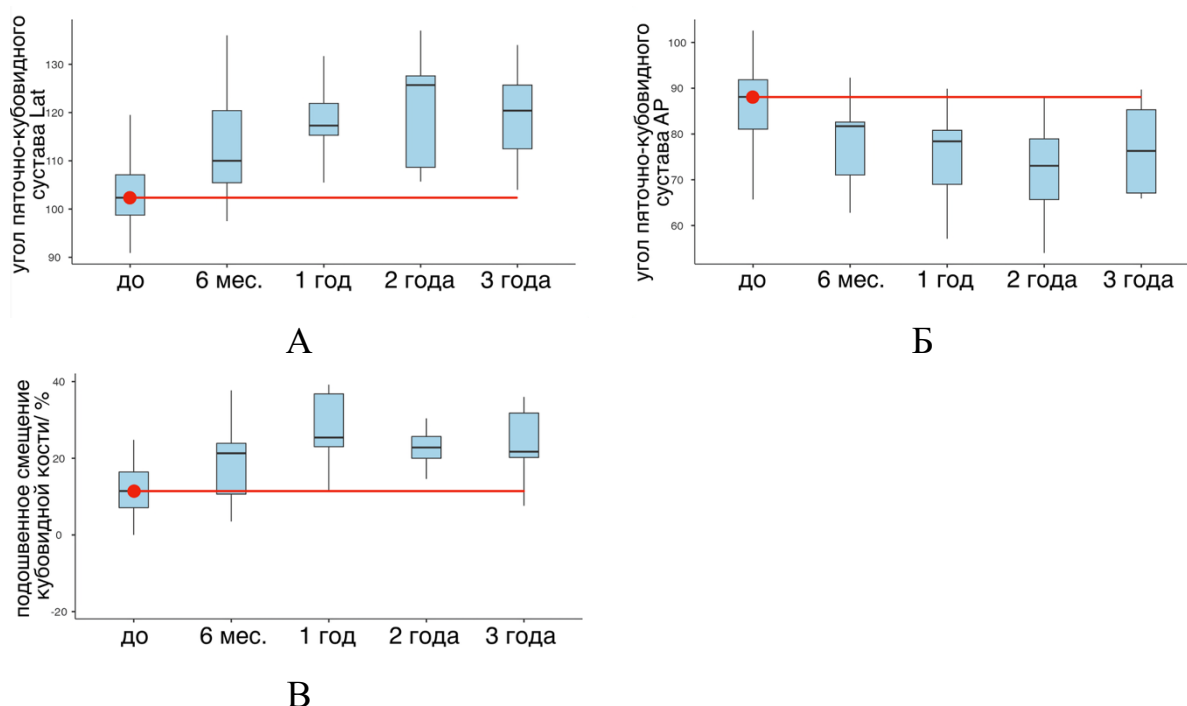


Рисунок 6.15. Изменение соотношений в пяточно-кубовидном суставе и угла наклона переднего отростка пяточной кости на разных сроках после удлиняющей остеотомии пяточной кости (n=46). А – угол наклона пяточно-кубовидного сустава на боковой рентгенограмме; Б – угол наклона пяточно-кубовидного сустава на передне-задней рентгенограмме; В – подошвенное смещение кубовидной кости.

Как можно увидеть из рисунка 6.15, после удлиняющей остеотомии пяточной кости формировались значимые изменения ангулометрических и линейных показателей (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$ по сравнению с группой «до операции»), характеризующих изменение расположения переднего отростка пяточной кости. У большинства пациентов после данного оперативного вмешательства был отмечен наклон переднего отростка пяточной кости в сагиттальной плоскости в подошвенную сторону, а во фронтальной плоскости в медиальную сторону. Также отмечалось значимое нарушение соотношений в пяточно-кубовидном суставе, характеризующееся плантарным смещением кубовидной кости. Указанные изменения не имели тенденции к самопроизвольной коррекции до исходного уровня на всем периоде наблюдения. Подошвенный наклон переднего отростка пяточной кости обусловлен

особенностями его прочностных характеристик в области остеотомии и частичным внедрением костного трансплантата в пяточную кость (рисунок 6.16).

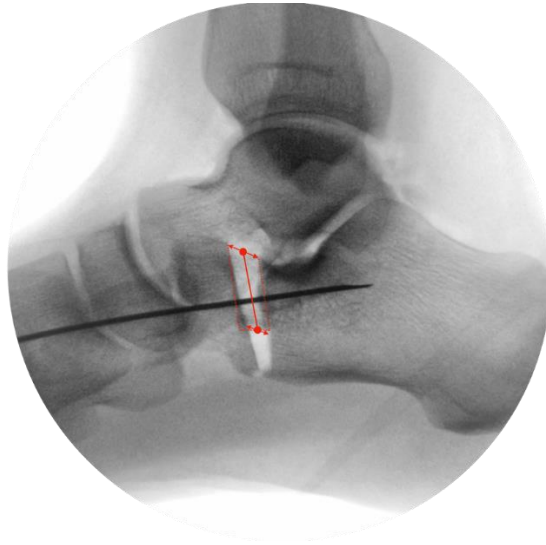


Рисунок 6.16. Наклон переднего отростка пяточной кости в подошвенную сторону при удлиняющей остеотомии.

На рисунке 6.16 видно, что костный трансплантат (контуры отмечены красной пунктирной линией) имеет прямоугольную форму, однако расстояние между фрагментами пяточной кости в области остеотомии неравномерное – в тыльной части остеотомии оно больше, чем в подошвенной части (указано красными стрелками). Эта особенность обусловлена частичным внедрением костного трансплантата в пяточную кость. Стоит отметить, что на рентгенограмме не отмечается тыльного смещения дистального фрагмента пяточной кости, это можно увидеть по нижней части остеотомии.

С целью определения взаимного влияния указанных параметров пяточно-кубовидного сустава был проведен корреляционный анализ с основными рентгенометрическими критериями. Данные корреляционного анализа приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Корреляция Spearman между основными клинико-рентгенометрическими параметрами стопы и показателями пяточно-кубовидного сустава (n=46)

Клинико-рентгенометрические параметры стопы	Угол наклона плоскости пяточно-кубовидного сустава передне-задняя проекция	Угол наклона плоскости пяточно-кубовидного сустава боковая проекция	Степень плантарного смещения кубовидной кости
Угол наклона плоскости пяточно-кубовидного сустава передне-задняя проекция	1	-0,630**	-0,573**
Угол наклона плоскости пяточно-кубовидного сустава боковая проекция	-0,630**	1	0,768**
Степень плантарного смещения кубовидной кости	-0,573**	0,768**	1
Передне-задний угол Meary	0,081	-0,024	-0,044
Передне-задний угол Kite	-0,160	-0,054	-0,049
Угол латерального смещения ладьевидной кости	0,013	-0,176	-0,199
Угол приведения переднего отдела	-0,089	-0,200	-0,148
Латеральный угол Meary	0,190	-0,419*	-0,370*
Латеральный угол Kite	-0,494**	0,723**	0,570**
Угол наклона пяточной кости	-0,608**	0,911**	0,780**
Таранно-большеберцовый угол	-0,111	0,133	0,185
Таранно-пяточное соотношение	-0,112	0,471*	0,400*
Угол продольного свода рентгенологический	0,480**	-0,842**	-0,635**
Угол тарзального синуса	0,326	-0,392*	-0,350*
Подометрический индекс Фридланда	-0,313	0,430*	0,271
Вальгус заднего отдела	0,157	0,068	0,039
Угол Dahle	-0,013	0,171	0,181

Анализ данных таблицы 6.4 показал, что исследуемые параметры пяточно-кубовидного сустава имели умеренные и сильные корреляционные связи друг с другом. Степень плантарного смещения кубовидной кости сильно коррелировала с углом наклона плоскости пяточно-кубовидного сустава в боковой проекции и углом наклона пяточной кости. Таким образом, величина плантарного смещения кубовидной кости напрямую связана с эверзионным положением подтаранного сустава (латеральный угол Kite, угол продольного свода, угол наклона пяточной

кости, угол тарзального синуса). Также можно отметить, что наклон плоскости пяточно-кубовидного сустава в медиальную сторону на передне-задней проекции приводил к уменьшению эверзионного положения подтаранного сустава (латеральный угол Kite, угол наклона пяточной кости), а также к увеличению угла продольного свода. С другой стороны, увеличение наклона плоскости пяточно-кубовидного сустава в подошвенную сторону на боковой проекции приводило к увеличению эверзионного положения подтаранного сустава (латеральный угол Kite), а угол наклона пяточной кости, таранно-пяточное соотношение, угол тарзального синуса) - к уменьшению угла продольного свода, а также к уменьшению латерального угла Meary, увеличению подометрического индекса Фридланда.

Для определения характера взаимного влияния положения пяточной кости и плантарного смещения кубовидной кости бы проведен регрессионный анализ. График анализа представлен на рисунке 6.17.

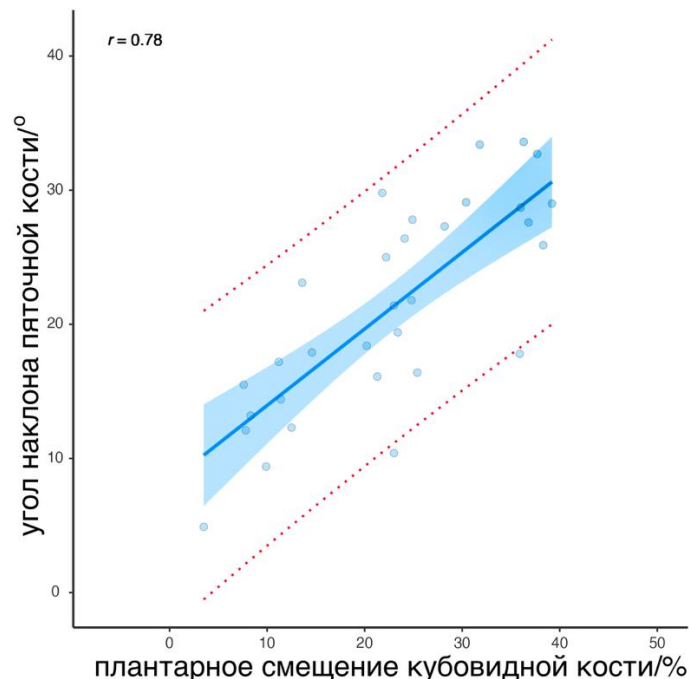


Рисунок 6.17. График регрессионного анализа по параметрам «угол наклона пяточной кости - плантарное смещение кубовидной кости» (n=31).

Как можно отметить на графике, изображенном на рисунке 6.17, имеется прямая корреляция, характеризующаяся линейной регрессионной связью между указанными параметрами. Приведенные данные свидетельствуют, о том, что

плантарное смещение кубовидной кости связано с положением пяточной кости после выполнения удлиняющей остеотомии. Указанная закономерность подтверждает предположение, что смещение переднего отростка пяточной кости вверх при удлиняющей остеотомии является прямым следствием увеличения эверзионного положения подтаранного сустава (увеличение латерального угла Kite приводит к увеличению угла наклона пяточной кости). Исходя из биомеханических особенностей удлиняющей остеотомии пяточной кости, можно предположить, что тыльное смещение переднего отростка пяточной кости не является истинным, то есть смещением дистального фрагмента по отношению к проксимальному. По полученным данным имеется прямая связь между эверзией подтаранного сустава и плантарным смещением кубовидной кости, что свидетельствует о большем тыльном смещении переднего отростка пяточной кости при увеличении эверзии подтаранного сустава. При увеличении таранно-пяточной дивергенции (латеральный угол Kite) – чем больше этот угол, тем больше передний отросток пяточной кости будет смещаться вверх, поскольку при удлинении он смещается по оси пяточной кости (рисунок 6.18).

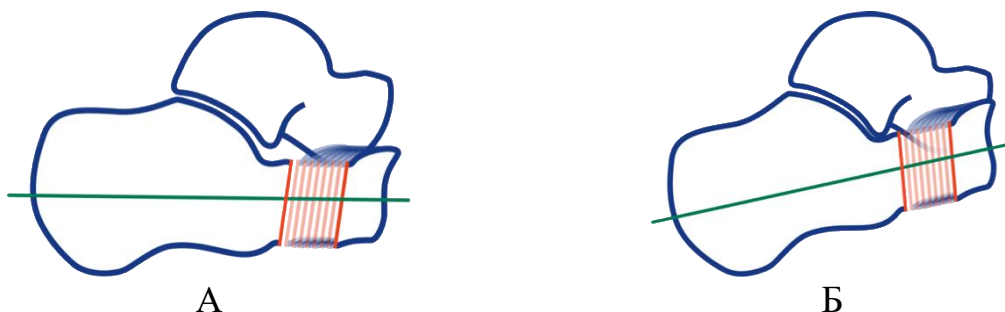


Рисунок 6.18. Схема смещения переднего отростка пяточной кости при удлиняющей остеотомии. А – нейтральное положение подтаранного сустава; Б – эверзионное положение подтаранного сустава.

Как можно отметить из рисунка 6.18, при удлиняющей остеотомии пяточной кости и условии точного смещения переднего отростка по оси пяточной кости, его смещение всегда будет направлено кпереди и вверх ввиду эверзионного положения подтаранного сустава (рисунок 6.18Б). При нейтральном положении подтаранного сустава передний отросток пяточной кости не будет смещаться

кверху, однако, этого не происходит ввиду описанных выше биомеханических особенностей.

Для оценки высоты расположения кубовидной кости после удлиняющей остеотомии пяточной кости с целью минимизации погрешности, связанной с фокусным расстоянием, была использована относительная величина – поперечный размер кубовидной кости. Схема расчета изображена на рисунке 6.19.



Рисунок 6.19. Методика оценки высоты расположения кубовидной кости. А – поперечный размер кубовидной кости; В – расстояние от плоскости опоры до нижнего края кубовидной кости.

Как можно увидеть на рисунке 6.19, для оценки высоты расположения кубовидной кости на боковой рентгенограмме проводилась вертикальная линия через самую нижнюю точку кубовидной кости. В верхней части эта линия заканчивалась на верхнем крае кубовидной кости, в нижней части – на плоскости опоры. Таким образом, высота расположения кубовидной кости рассчитывалась относительно ее величины – $A/B \times 100\%$.

При анализе изменения высоты расположения кубовидной кости был выполнен расчет указанного параметра до выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости и через 1 год после операции. Полученные данные свидетельствовали, что кубовидная кость занимает более высокое положение после удлиняющей остеотомии пяточной кости (тест Brunner-Munzel; $p=0,001$). С другой стороны, изменение высоты положения кубовидной кости было в меньшей степени значимым, чем изменение угла наклона пяточной кости. Пример изменения указанных параметров приведен на рисунке 6.20.



Рисунок 6.20. Изменение высоты расположения кубовидной кости и угла наклона пяточной кости после удлиняющей остеотомии пяточной кости. А – рентгенограмма стопы до хирургической коррекции плоскостопия; Б – рентгенограмма стопы после выполнения операции Evans. Горизонтальными линиями отмечена плоскость опоры, наклонными линиями отмечен наклон пяточной кости, вертикальными линиями отмечена высота расположения кубовидной кости.

Как видно на рисунке 6.20, после удлиняющей остеотомии пяточной кости отмечается значительное увеличение угла наклона пяточной кости и значимое увеличение высоты расположения кубовидной кости. Полученные данные позволяют сделать вывод, что при удлиняющей остеотомии пяточной кости плантарный подвывих кубовидной кости обусловлен не подошвенным смещением кубовидной кости, а смещением переднего отростка пяточной кости вследствие эверзионного положения подтаранного сустава, как было указано ранее на рисунках 6.10 и 6.18.

Таким образом, указанные закономерности подтверждают данные, полученные ранее (таблица 6.1; 6.2), которые свидетельствуют об увеличении эверзионного положения на уровне подтаранного сустава при удлиняющей остеотомии пяточной кости. Положение кубовидной кости значимо не меняется после операции Evans, а так называемый плантарный подвывих кубовидной кости связан с тыльным смещением переднего отростка пяточной кости, которое, в свою очередь, связано с увеличением таранно-пяточной дивергенции (рисунок 6.15). Наклон переднего отростка пяточной кости в подошвенную и медиальную сторону при удлиняющей остеотомии пяточной кости способствует большей

коррекции деформации стопы (корреляция между углом наклона пяточно-кубовидного сустава в боковой и передне-задней проекции с латеральным углом Kite ($\rho=0,723$ и $\rho=-0,494$); углом наклона пяточной кости ($\rho=0,911$ и $\rho=-0,608$); углом продольного свода рентгенологическим ($\rho=-0,842$ и $\rho=0,480$). Плантарный подвывих кубовидной кости на сроках наблюдения от 6 месяцев до 3 лет встречается от 22 до 31% при удлиняющей остеотомии пяточной кости и не имеет тенденции к самопроизвольной коррекции с течением времени (график на рисунке 6.15).

Исходя из полученных данных, можно сделать заключение, что основным условием коррекции деформации стопы при остеотомии пяточной кости по Evans является нормальная мобильность сустава Шопара. Наличие мобильности подтаранного сустава является менее значимым условием для выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans по сравнению с артрорезом подтаранного сустава. Это связано с тем, что при удлиняющей остеотомии пяточной кости коррекция эверзионного положения стопы происходит на уровне сустава Шопара. При удовлетворительной мобильности подтаранного сустава операция Evans приводит к усугублению вальгуса заднего отдела стопы. Таким образом, основным условием к выполнению удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans является наличие удовлетворительной мобильности сустава Шопара и ограничение мобильности подтаранного сустава. Снижение мобильности подтаранного сустава будет препятствовать смещению переднего отростка пяточной кости вверх, связанного с увеличением эверзии подтаранного сустава, и не позволит усугубить вальгусное положение заднего отдела стопы. При удовлетворительной мобильности подтаранного сустава, остеотомия по Evans приводит к увеличению его эверзионного положения, что может потребовать выполнения медиализирующей остеотомии бугра пяточной кости. При снижении мобильности подтаранного сустава, удовлетворительной мобильности сустава Шопара и невыраженном вальгусе заднего отдела стопы (менее 15°), удлиняющая остеотомия пяточной кости по Evans может рассматриваться как метод выбора.

6.1.2 Удлиняющая остеотомия пяточной кости (операция Hintermann)

Удлиняющая остеотомия пяточной кости по Hintermann имеет схожие с артрорезом подтаранного сустава и операцией Evans условия для коррекции деформации. Эти условия заключаются в удовлетворительной мобильности суставов предплюсны. Результаты изменений рентгенологических параметров стоп после выполнения операции Hintermann приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Изменения основных рентгенологических показателей после операции Hintermann (n=41)

Рентгенологические показатели	До операции	После операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Передне-задний угол Meary/ $^{\circ}$	18,2 (9,1; 25,5)	9,8 (4,2; 16,3)	10,1 (5,1; 14,9)	8,2 (7,1; 11,2)	10,5 (12,8; 17,2)
Передне-задний угол Kite/ $^{\circ}$	26,3 (20,1; 31,2)	19,8 (17,3; 24,0)	18,9 (16,8; 23,4)	20,1 (14,9; 24,0)	18,8 (16,5; 23,2)
Угол латерального смещения ладьевидной кости/ $^{\circ}$	25,1 (19,5; 35,2)	16,6 (6,2; 18,1)	11,8 (5,3; 18,9)	6,5 (3,4; 24,3)	11,9 (7,5; 22,4)
Угол приведения переднего отдела/ $^{\circ}$	16,1 (12,0; 19,8)	14,2 (12,8; 21,3)	11,5 (6,5; 19,0)	12,5 (12,0; 24,5)	16,0 (8,5; 14,3)
Латеральный угол Kite/ $^{\circ}$	50,2 (43,1; 54,5)	39,3 (37,0; 46,4)	40,5 (39,2; 42,3)	38,0 (36,5; 43,0)	41,0 (38,5; 44,1)
Латеральный угол Meary/ $^{\circ}$	26,0 (15,8; 29,5)	8,8 (6,2; 21,6)	6,5 (4,1; 12,8)	10,0 (8,6; 18,2)	13,1 (6,7; 11,8)
Угол наклона пяточной кости/ $^{\circ}$	9,9 (6,9; 14,2)	13,8 (10,2; 25,1)	15,8 (13,2; 19,0)	17,9 (14,5; 19,5)	15,2 (13,0; 19,1)
Таранно-пяточное соотношение/%	51,2 (39,0; 58,1)	25,1 (19,0; 30,3)	24,2 (21,2; 31,5)	25,0 (17,9; 32,5)	27,0 (26,5; 31,0)
Таранно-большеберцовый угол/ $^{\circ}$	56,0 (50,5; 61,6)	65,0 (48,0; 71,0)	68,1 (64,4; 73,5)	69,0 (62,0; 73,0)	61,2 (50,4; 59,5)
Угол продольного свода рентгенологический/ $^{\circ}$	159,0 (148,5; 161,5)	153,0 (135,5; 154,3)	138,5 (134,3; 141,2)	143,5 (130,5; 145,0)	142,5 (127,2; 139,4)
Угол тарзального синуса/ $^{\circ}$	23,0 (10,8; 17,3)	32,2 (26,2; 34,8)	37,1 (24,0; 42,4)	39,9 (25,5; 42,0)	33,8 (24,0; 48,2)

Анализ данных таблицы 6.5 показал, что при сравнении с удлиняющей остеотомией пяточной кости по Evans, улучшение было отмечено по всем параметрам за исключением угла приведения переднего отдела стопы (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$). Также было отмечено улучшение и по параметрам, характеризующим положение подтаранного сустава. При наблюдении в динамике, достигнутая коррекция сохранялась (рисунок 6.21).

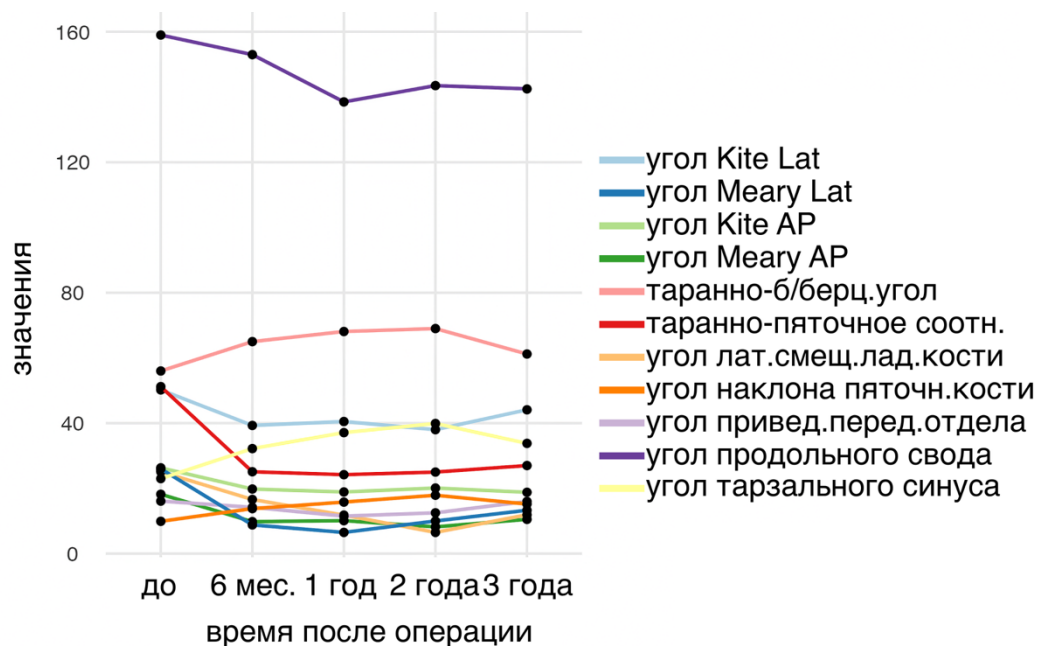


Рисунок 6.21. Динамика рентгенометрических показателей стоп после удлиняющей остеотомии пяточной кости по Hintermann (n=41).

На рисунке 6.21 показано, что после удлиняющей остеотомии пяточной кости по Hintermann достигнутая коррекция деформации стопы сохранялась на всем периоде наблюдения. Максимальные показатели коррекции отмечались в среднем через 1 – 2 года после лечения, однако различия с другими сроками после операции не имели статистической значимости. Изменения клинических параметров после операции Hintermann приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Изменения основных клинических показателей после удлиняющей остеотомии пяточной кости Hintermann (n=41)

Клинические показатели стопы	До операции	После операции			
		6 месяцев	1 год	2 года	3 года
Угол Dahle/°	125,50 (120,80; 131,75)	130,80 (121,90; 132,45)	140,20 (122,35; 146,30)	132,40 (125,50; 139,60)	133,90 (125,70; 144,40)
Индекс Фридланда	24,35 (23,40; 25,10)	27,45 (24,15; 26,35)	26,85 (25,55; 27,05)	27,70 (25,35; 27,95)	27,45 (25,75; 26,85)
Вальгус заднего отдела/°	14,25 (12,10; 19,65)	6,90 (40,65; 11,80)	8,80 (6,95; 13,10)	10,20 (8,20; 13,45)	9,05 (5,85; 14,45)

* по сравнению с группой «до операции» $p < 0,05$ (Т-критерий Wilcoxon)

Как можно увидеть из таблицы 6.6, после операции Hintermann помимо статистически значимой коррекции сагиттального профиля стопы отмечалась значимая коррекция фронтального профиля (тест Kruskal-Wallis; $p < 0,05$). Динамика клинических показателей после удлиняющей остеотомии пяточной кости по Hintermann приведена на рисунке 6.22.

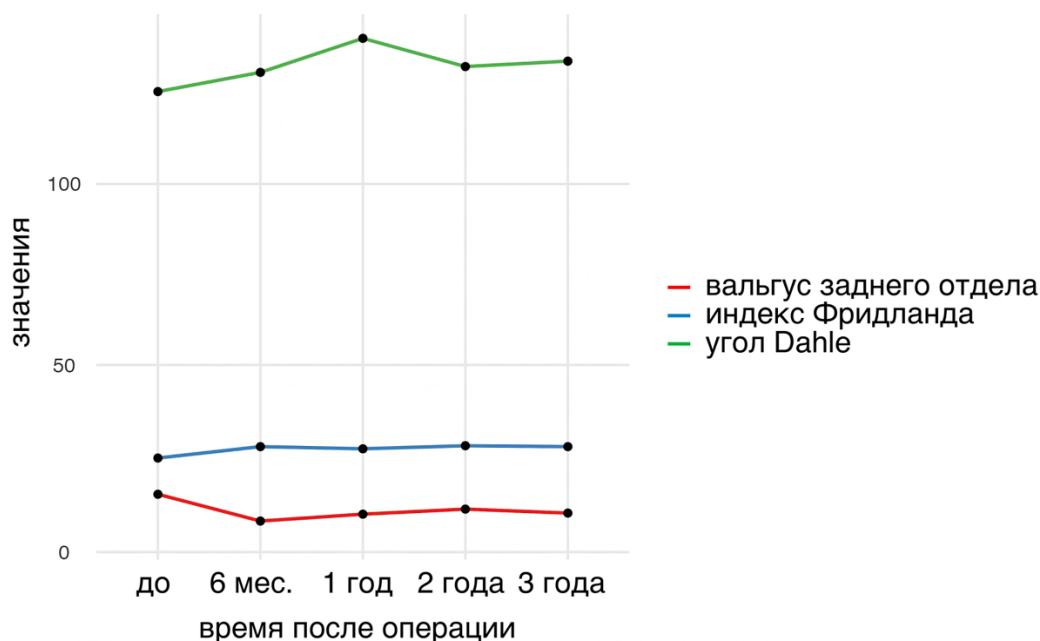


Рисунок 6.22. График динамики изменений клинических показателей после операции Hintermann (n=41).

Как можно увидеть из графика на рисунке 6.22, самые существенные изменения касались коррекции клинического угла свода и вальгуса заднего отдела. При сопоставлении клинических и рентгенологических изменений, можно

заключить, что удлиняющая остеотомия пяточной кости по Hintermann позволяет корректировать эверзионное положение подтаранного сустава. Пример изменения положения заднего стопы во время выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Hintermann приведен на рисунке 6.23.

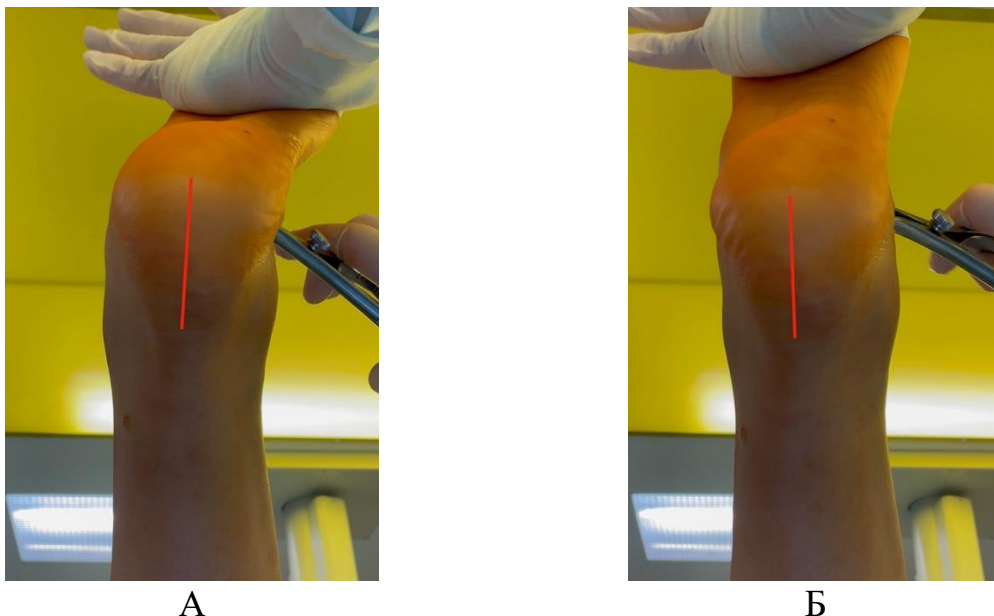


Рисунок 6.23. Клинический пример изменения положения заднего отдела стопы во время выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Hintermann. А – до выполнения дистракции в зоне остеотомии; Б – после выполнения дистракции в зоне остеотомии.

На рисунке 6.23 видно, что при выполнении дистракции в зоне остеотомии отмечается коррекция вальгуса заднего отдела. Рентгенологические изменения после выполнения остеотомии пяточной кости по Hintermann приведены на рисунке 6.24.

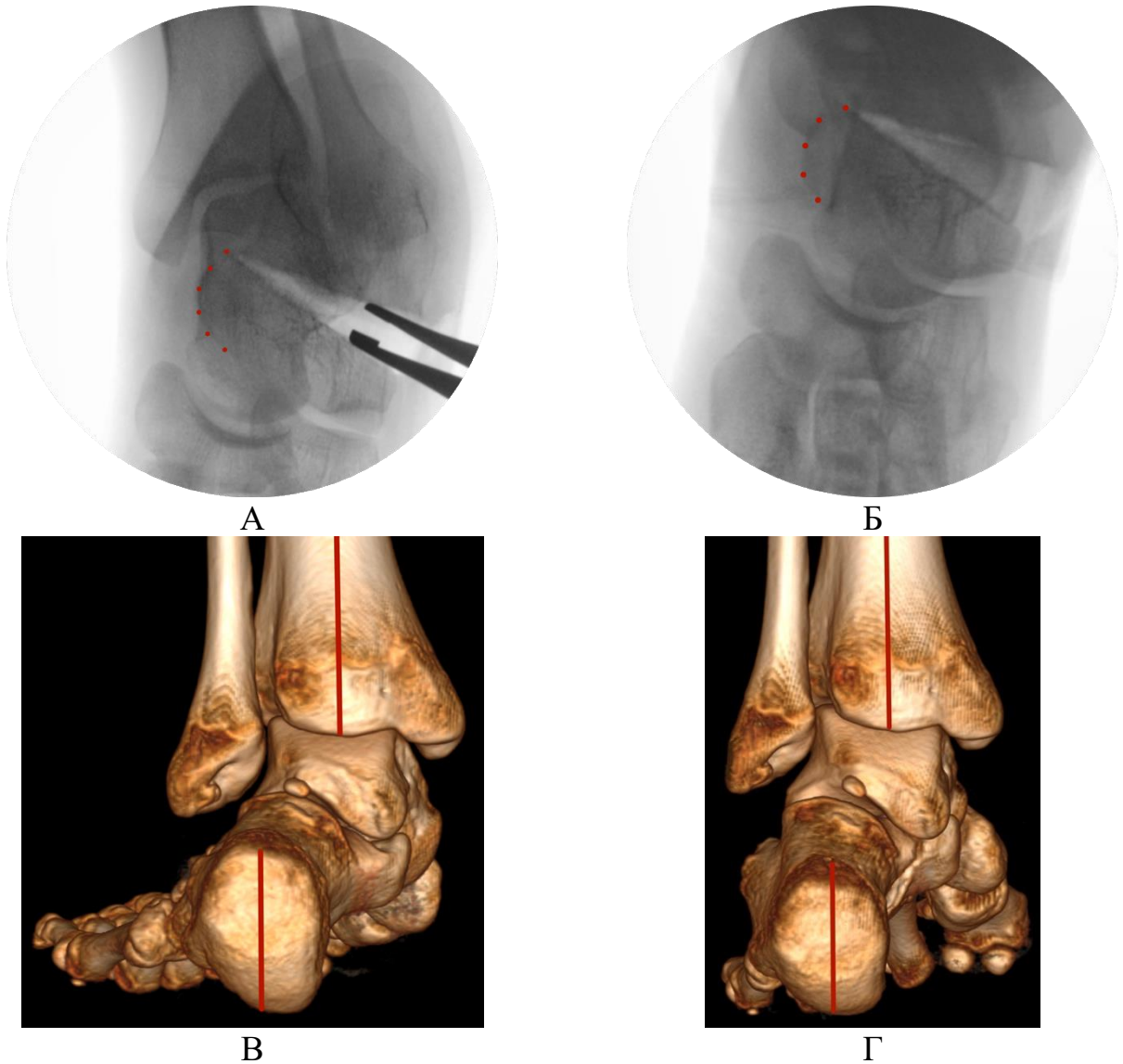


Рисунок 6.24. Изменение положения заднего отдела стопы вследствие дезинтеграций фасеток подтаранного сустава. А – дистракция в области сечения пяточной кости; Б – импакция костного трансплантата (красными пунктирными линиями отмечены границы sustentaculum tali); В – положение пяточной кости до коррекции деформации; Г – положение пяточной кости после выполнения операции Hintermann.

Как можно увидеть из рисунка 6.24, остеотомия пяточной кости по Hintermann позволяет, в отличие от остеотомии по Evans, корригировать вальгус заднего отдела стопы. Кроме того, удлиненное сечение пяточной кости позволяет стабильно импактировать костный трансплантат и чаще всего не требует фиксации. Также это способствует более быстрой, по сравнению с операцией Evans, консолидации.

Исходя из полученных показателей, характеризующих положение подтаранного сустава, можно заключить, что остеотомия пяточной кости по Hintermann корригирует эверзионное положение подтаранного сустава. Вместе с тем, плантарное смещение ладьевидной кости после остеотомии пяточной кости по Hintermann менее выражено по сравнению с операцией Evans. Учитывая особенности сечения пяточной кости при операции Hintermann, коррекция деформации стопы достигается не за счет лигаментотаксиса (пяточно-ладьевидная связка), а за счет дезинтеграции суставных фасеток подтаранного сустава, что является иным механизмом коррекции по сравнению с операцией Evans (рисунок 6.25).

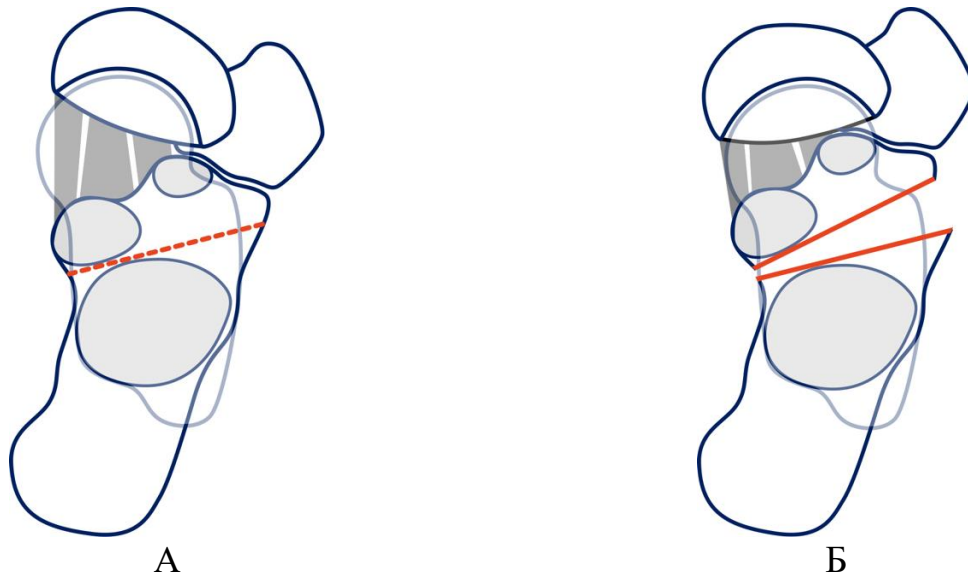


Рисунок 6.25. Схематичное изображение остеотомии пяточной кости по Hintermann. А – ориентация сечения пяточной кости; Б – смещение переднего фрагмента, обуславливающее дезинтеграцию фасеток подтаранного сустава.

Как можно увидеть на рисунке 6.25, при выполнении остеотомии пяточной кости по Hintermann происходит дезинтеграция фасеток подтаранного сустава. Функционально единые – передняя и медиальная фасетки пяточной кости смещаются медиально, тем самым меняется сектор движений в подтаранном суставе.

Таким образом, удлиняющая остеотомия пяточной кости по Evans и Hintermann имеют разные механизмы коррекции. Вместе с тем, остеотомия по Evans не корригирует положение заднего отдела стопы, а остеотомия Hintermann

позволяет достичь коррекции всех элементов деформации. Результаты коррекции деформации стопы при выполнении удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans и Hintermann приведены на рисунке 6.26.

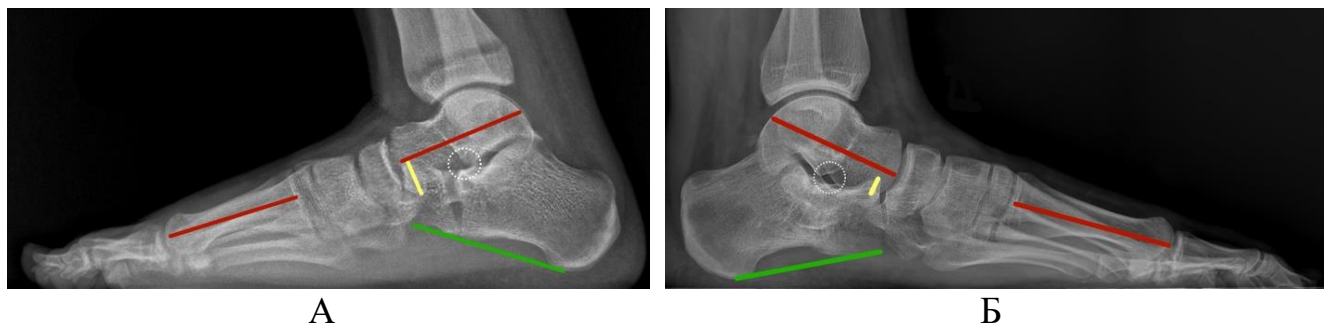


Рисунок 6.26. Коррекция плоскостопия путем выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans (А) и по Hintermann (Б).

Как можно отметить на рисунке 6.26, сопоставимая коррекция по латеральному углу Meary (красные линии) у пациентов с удлиняющей остеотомией пяточной кости сопровождается разной степенью коррекции эверзии подтаранного сустава. После выполнения остеотомии Evans подтаранный сустав занимает эверзионное положение (рисунок 6.26А): увеличение таранно-пяточного соотношения (линия желтого цвета), проксимальный фрагмент пяточной кости имеет непосредственный контакт с латеральным отростком таранной кости (пунктирный круг белого цвета), а также увеличение латерального угла Kite (наклон пяточной кости отображен линией зеленого цвета, ось таранной кости – линией красного цвета). С другой стороны, после выполнения остеотомии Hintermann, указанные параметры свидетельствуют об отсутствии положения крайней эверзии на уровне подтаранного сустава (рисунок 6.26Б). Помимо всего, латеральный отросток таранной кости не имеет плотного контакта с пяточной костью (круг белого цвета).

Исходя из полученных данных, основным условием, определяющим коррекцию деформации при выполнении остеотомии Hintermann, является мобильность как сустава Шопара, так и подтаранного сустава, а при выполнении остеотомии Evans – только мобильность сустава Шопара.

6.2 Дополнительные вмешательства при использовании остеотомий на уровне среднего и заднего отделов стопы

6.2.1 Флексионная остеотомия медиальной клиновидной кости (операция Cotton)

Данный вид оперативного вмешательства не выполнялся в изолированном виде, а дополнял реконструктивные вмешательства на заднем отделе стопы (чаще всего удлиняющую остеотомию пяточной кости) при возникновении элевации I плюсневой кости интраоперационно.

Для количественной оценки степени элевации I плюсневой кости разработан способ расчета величины элевации (патент РФ на изобретение «Способ определения элевации I плюсневой кости на рентгенограммах при плоскостопии» №2774965, 24.06.2022). Схема расчета приведена на рисунке 6.27.

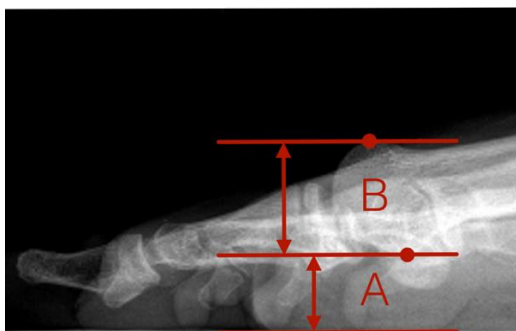


Рисунок 6.27. Способ расчета степени элевации I плюсневой кости (объяснение в тексте).

Как можно увидеть из рисунка 6.27, для расчета величины элевации I плюсневой кости вычислялось соотношение высоты расположения головки I плюсневой кости (расстояние A – от плоскости опоры к самой нижней точке головки I плюсневой кости) к размеру головки I плюсневой кости (расстояние B – от самой нижней до самой верхней точки головки I плюсневой кости) на боковой рентгенограмме ($A/B \times 100\%$).

Клинические проявления элевации I плюсневой кости заключаются в деформации тыльной части плюсне-фалангового сустава I пальца и флексионной установке I пальца. В зарубежной литературе эта деформация носит название

«dorsal bunion». Клинические проявления данной деформации изображены на рисунке 6.28.



Рисунок 6.28. Клинические проявления элевации I плюсневой кости. А – вид сбоку; Б – вид спереди.

Как видно на рисунке 6.28, помимо флексионной установки I пальца при элевации I плюсневой кости возникает дефигурация тыльной части плюсне-фалангового сустава (отмечено стрелками красного цвета).

Для определения величины элевации плюсневой кости, которая будет иметь клинические проявления, было проведено сравнительное исследование у пациентов с «dorsal bunion» и без него. Полученные данные изображены на рисунке 6.29.

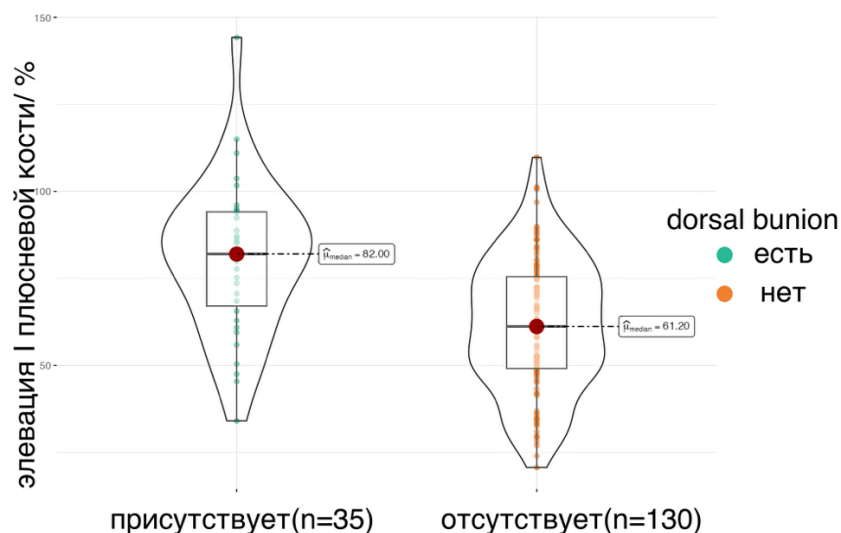


Рисунок 6.29. График распределения значений величины элевации I плюсневой кости у пациентов с клиническими проявлениями «dorsal bunion» и без них (n=165).

Как можно увидеть на рисунке 6.29, клинические проявления элевации I плюсневой кости имели место при ее величине более 82,5 (69,0; 94,2)%, в то время как элевация I плюсневой кости менее 61,4 (49,1; 75,5)% не имела клинических проявлений. Различия между двумя группами (с клиническими проявлениями «dorsal bunion» и без них) статистически значимы – statistic: -5, 57; df: 47,5; $p < 0,001$; тест Brunner-Munzel. Для оценки динамики элевации I плюсневой кости на разных сроках после операции при различных вариантах стабилизации суставов предплюсны был проведен ковариационный анализ ANCOVA. При этом, значимую роль сыграл фактор «вариант коррекции» - сумма квадратов = 13330.5; $F=12.598$; $df=4$; $p < 0,001$. Фактор «время оценки» не показал значимого влияния - сумма квадратов = 22,8; $F=0,065$; $df=1$; $p=0,8$.

Данные динамики изменения элевации I плюсневой кости при различных методах стабилизации на разных сроках приведены на рисунке 6.30.

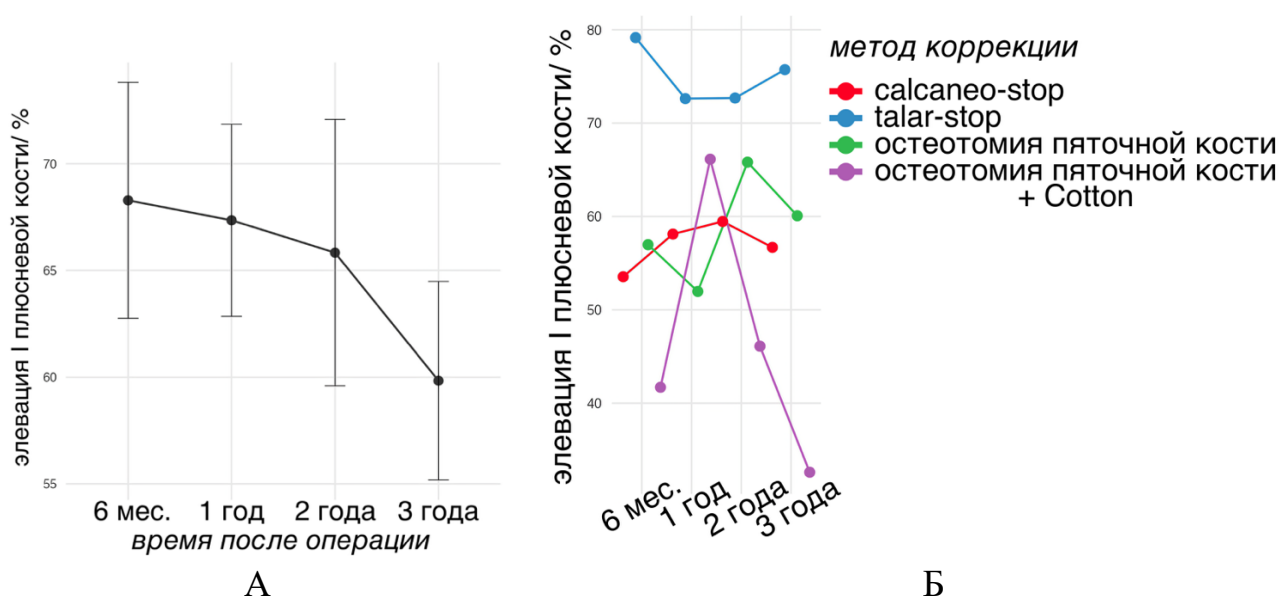


Рисунок 6.30. Динамика изменения элевации I плюсневой кости на разных сроках после операции (n=165). А – медианные значения элевации I плюсневой кости; Б – усредненные медианные значения элевации I плюсневой кости в зависимости от вида стабилизации суставов предплюсны.

Как можно увидеть на рисунке 6.30А, элевация I плюсневой кости имеет тенденцию к самопроизвольной коррекции с течением времени. Из всех методов стабилизации суставов предплюсны, наибольшая элевация I плюсневой кости

возникала после блокирующего винта в таранную кость. Данная особенность связана с потенциалом коррекции эверзии подтаранного сустава, поскольку была отмечена отрицательная корреляционная связь между величиной эверзии I плюсневой кости и таранно-пяточным соотношением ($\sigma=-0.381$; $S=-13.25$; $p<0,001$).

Таким образом, элевация I плюсневой кости имеет клинические проявления при ее величине более 70 – 80%, зависит от степени коррекции эверзии подтаранного сустава и имеет тенденцию к самопроизвольной коррекции с течением времени.

Для определения влияния флекссионной остеотомии медиальной клиновидной кости на положение I плюсневой кости был проведен сравнительный анализ, включающий определение величины элевации I плюсневой кости в группах пациентов, которым выполнялась операция Evans в изолированном виде, а также в сочетании с операцией Cotton, через 1 – 2 года после хирургического лечения. При сравнении величины элевации I плюсневой кости не было статистически значимой разницы (тест Brunner-Munzel, $-0,787$; $p=0,448$). Графическое изображение исследуемого параметра в сравниваемых группах приведено на рисунке 6.31.

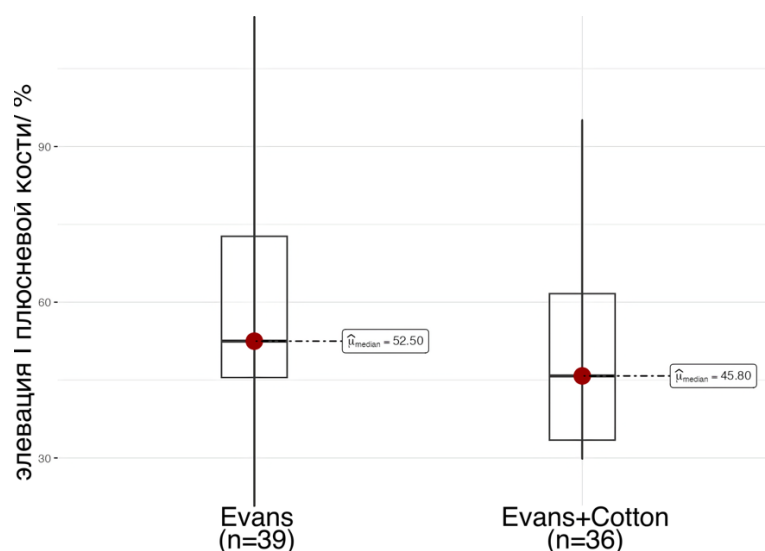


Рисунок 6.31. Сравнительные графики медианных значений элевации I плюсневой кости в группах пациентов с изолированной удлиняющей остеотомией пяточной кости и в сочетании с флекссионной остеотомией медиальной клиновидной кости ($n=75$).

Как можно увидеть на рисунке 6.31, медианные значения элевации I плюсневой кости после выполнения флексионной остеотомии медиальной клиновидной кости снижались менее чем на 10 %. При этом, процентное соотношение частоты встречаемости клинических проявлений элевации I плюсневой кости («dorsal bunion») было сопоставимо в группах пациентов (рисунок 6.32).

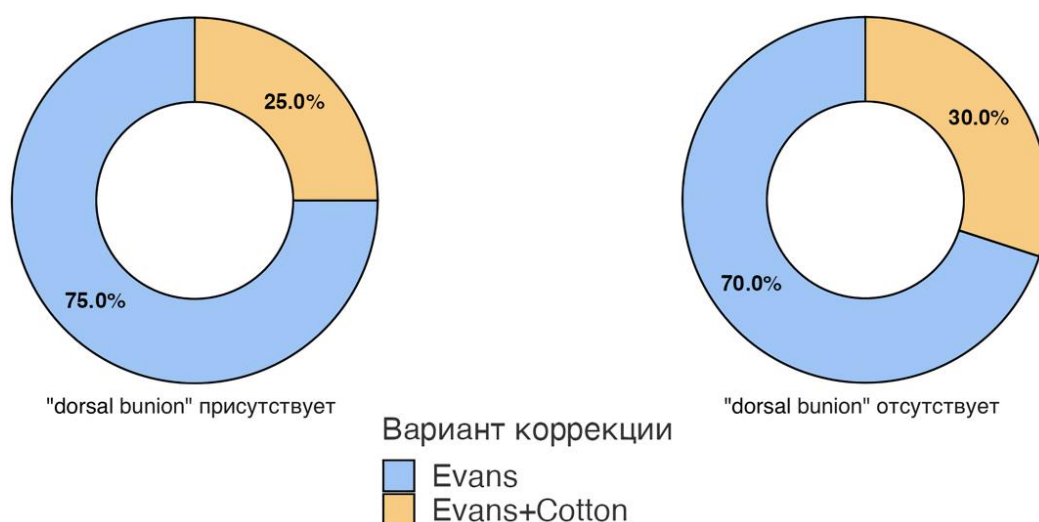


Рисунок 6.32. Процентное соотношение клинических проявлений элевации I плюсневой кости в группах пациентов без и с выполнением флексионной остеотомии медиальной клиновидной кости (n=75).

При динамическом наблюдении за величиной элевации I плюсневой кости на разных сроках после хирургического вмешательства была отмечена тенденция к самопроизвольной коррекции, при этом, скорость коррекции элевации I плюсневой кости увеличивалась при выполнении упражнений, направленных на увеличение силы трехглавой мышцы голени. Клинический пример коррекции элевации I плюсневой кости на разных сроках после хирургического лечения приведен на рисунке 6.33.



А



Б



В

Рисунок 6.33. Клинический пример. Положение I плюсневой кости до хирургического лечения (А), через 6 месяцев (Б) и через 1 год (В) после удлиняющей остеотомии пяточной кости.

Как можно увидеть на рисунке 6.33, на фоне выполнения упражнений, направленных на увеличение силы трехглавой мышцы голени, отмечалось уменьшение элевации I плюсневой кости до исходной величины в течение 1 года после хирургического лечения. Кроме того, в некоторых случаях флекссионная остеотомия медиальной клиновидной кости приводила к дистальному смещению I плюсневой кости и ее относительному удлинению (рисунок 6.34).

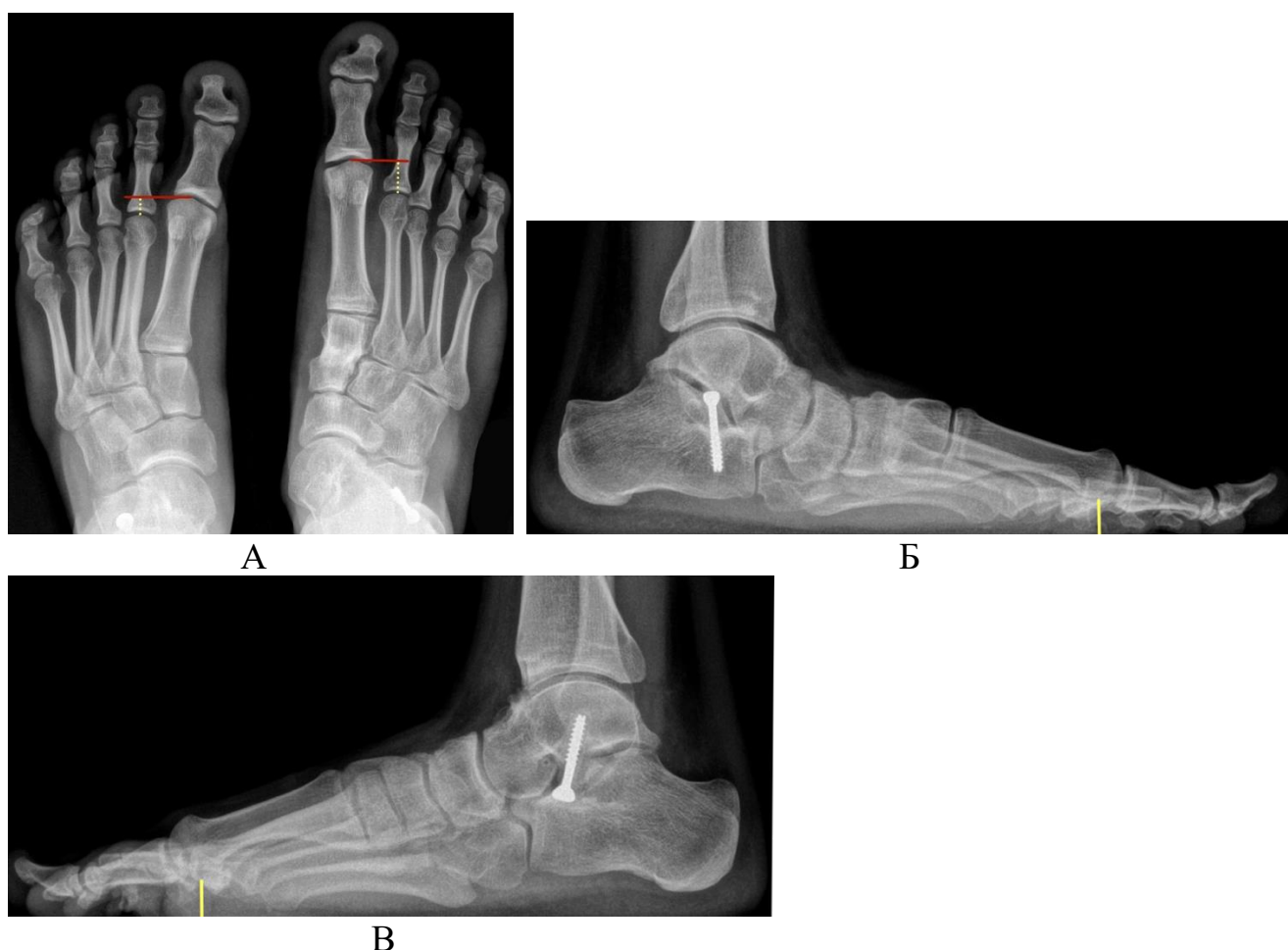


Рисунок 6.34. Клинический пример выполнения остеотомии Cotton. А – передне-задняя рентгенограмма; Б, В – боковая рентгенограмма правой и левой стопы.

Как видно на рисунке 6.34А, флексионная остеотомия медиальной клиновидной кости правой стопы привела к удлинению I плюсневой кости (желтой пунктирной линией указано расстояние от головки М1 до головки М2). При этом, на латеральной рентгенограмме правой и левой стопы (рисунок 6.34 Б, В) значимое различие по высоте расположения головки I плюсневой кости отсутствует (желтые линии).

Таким образом, флексионная остеотомия I клиновидной кости может рассматриваться как дополнение при значимой элевации I плюсневой кости, возникающей интраоперационно, однако, потенциал коррекции элевации I плюсневой кости у операции Cotton достаточно низкий.

6.2.2 Вмешательства на мягких тканях медиальной поверхности стопы

По данным литературы, достаточно часто при реконструкции заднего отдела стопы как дополнения выполняются аугментирующие вмешательства на внутреннем крае стопы. Чаще всего такие вмешательства сочетают с остеотомией пяточной кости. Они заключаются или в укорочении сухожилия задней большеберцовой мышцы, или аугментации этого сухожилия или связок путем различных транспозиций или имплантации фиксаторов (анкерные фиксаторы, лавсановая нить и т.д.).

Исходя из полученных результатов лечения пациентов с плоскостопием с разными вариантами стабилизации суставов предплюсны, необходимость аугментирующих вмешательств представляется сомнительной.

Из 53 пациентов (87 стоп), которым выполнялись остеотомии пяточной кости, 4 пациентам по месту жительства ранее были проведены вмешательства на сухожилии задней большеберцовой мышцы и дельтовидной связке. Коррекция деформации стоп ни в одном случае получена не была. В связи с рубцовыми изменениями мобильность суставов предплюсны была снижена. Двум пациентам для увеличения мобильности суставов предплюсны перед выполнением удлиняющей остеотомии пяточной кости и уменьшения болевого синдрома в области выполненного ранее вмешательства было произведено удаление лавсановой ленты (рисунок 6.35).



А



Б

Рисунок 6.35. Клинические случаи – удаление лавсановой ленты из сухожилия задней большеберцовой мышцы (А) и передней порции дельтовидной связки (Б).

Таким образом, вмешательства на мягкотканых структурах медиального края стопы как самостоятельные способы коррекции являются малоэффективными, а как дополняющие анатомические и неанатомические методы стабилизации суставов предплюсны – излишние.

6.3 Артродезирующие вмешательства при плоскостопии

Показаниями к выполнению артродезирующих вмешательств были выраженные дегенеративные изменения суставов предплюсны (стадия III по классификации J.H. Kellgren и J.S. Lawrence), а также болевой синдром, связанный с движениями в измененных суставах у детей старше 12 лет. Стоит отметить, что при значимой деформации блока таранной кости, коррекция ее положения посредством артродезирующего вмешательства может приводить к ограничению мобильности и впоследствии - к дегенеративным изменениям голеностопного сустава. Пример выполнения трехсуставного артродеза приведен на рисунке 6.36.



А



Б

Рисунок 6.36. Выраженные дегенеративные изменения суставов предплюсны, сопровождающиеся болевым синдромом у пациента с ригидным плоскостопием. А – рентгенограмма до лечения; Б – рентгенограмма через 1 год после выполнения трехсуставного артродеза.

Выполнение околосуставных остеотомий для коррекции деформации стопы не приведет к уменьшению болевого синдрома, в связи с этим выполняются артродезирующие вмешательства. При этом, несмотря на отсутствие коррекции положения таранной кости, на рентгенограмме присутствуют начальные дегенеративные изменения голеностопного сустава. В случае дегенеративных

изменений, ограничивающихся суставах Шопара возможно выполнение локальных артродезов – таранно-ладьевидного сустава или сустава Шопара.

Для оценки мобильности подтаранного сустава после выполнения артродеза таранно-ладьевидного сустава и сустава Шопара, проведено исследование угла тарзального синуса и величины таранно-пяточного соотношения при выполнении инверзии и эверзии (рисунок 6.37).

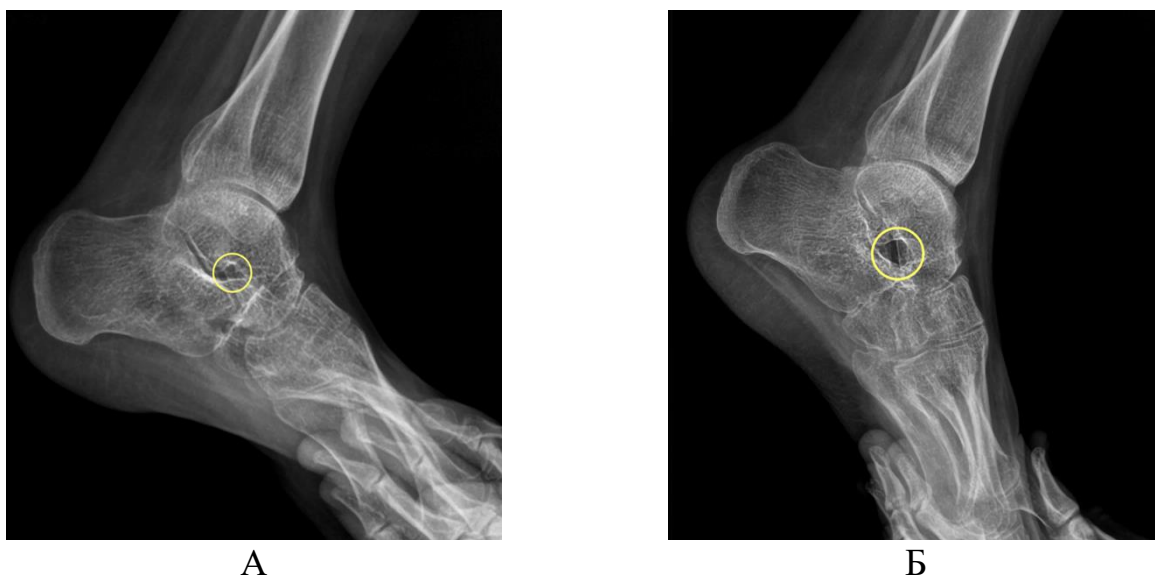


Рисунок 6.37. Методика оценки мобильности подтаранного сустава на боковых функциональных рентгенограммах – инверзия стопы (А), эверзия стопы (Б).

Как можно отметить из рисунка 6.37, после выполнения артродеза сустава Шопара отмечается мобильность подтаранного сустава – изменение размеров тарзального синуса (отмечено желтым цветом). При этом, были отмечены значимые различия в величине угла тарзального синуса и таранно-пяточного соотношения на рентгенограммах с инверзией и эверзией стопы (тест Brunner-Munzel; угол тарзального синуса -6,29; $p < 0,001$; таранно-пяточное соотношение 51,51; $p < 0,001$). Графики различий исследуемых параметров приведены на рисунке 6.38.

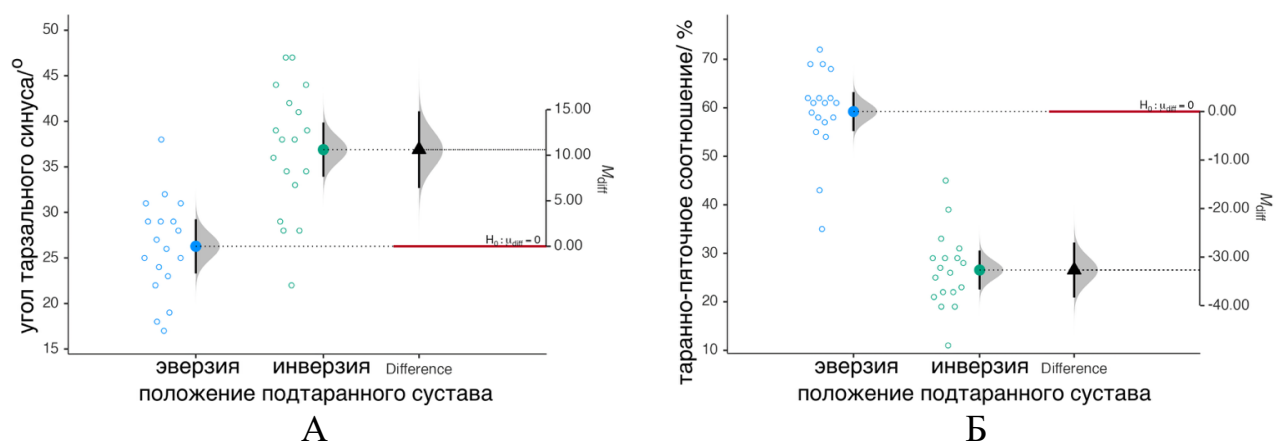


Рисунок 6.38. Графики различий исследуемых величин при инверсии и эверсии стопы ($n=18$). А – угол тарзального синуса; Б – таранно-пяточное соотношение.

На рисунке 6.38 видно, что корректно выполненный артродез сустава Шопара позволяет сохранить движения в подтаранном суставе. При некорректном сопоставлении, ладьевидная кость может контактировать с передним отростком пяточной кости (рисунок 6.39).

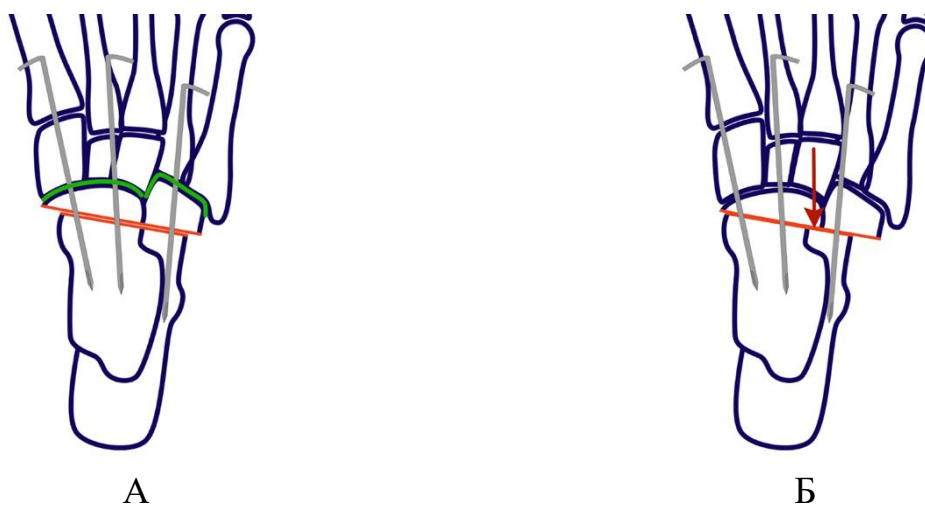


Рисунок 6.39. Схема корректной репозиции артродеза сустава Шопара (А) и некорректной репозиции (Б). Красной стрелкой отмечена зона контакта ладьевидной кости и переднего отростка пяточной кости.

На рисунке 6.39А видно, что при отсутствии контакта латерального края ладьевидной кости с передним отростком пяточной кости, не происходит внесуставного артродезирования подтаранного сустава. Таким образом, функционально сустав Шопара смещается кпереди (отмечено зеленой линией), что и позволяет сохранить движения в подтаранном суставе. При некорректной

репозиции артродеза (рисунок 6.39, Б), ладьевидная кость контактирует как с таранной, так и с пяточной костью, таким образом формируется внесуставной артродез подтаранного сустава. Также о том, что функционально сустав Шопара смещается кпереди после выполнения артродеза, свидетельствует изменение геометрии ладьевидно-клиновидных суставов - плоская суставная поверхность ладьевидной кости становится сферичной (рисунок 6.40).

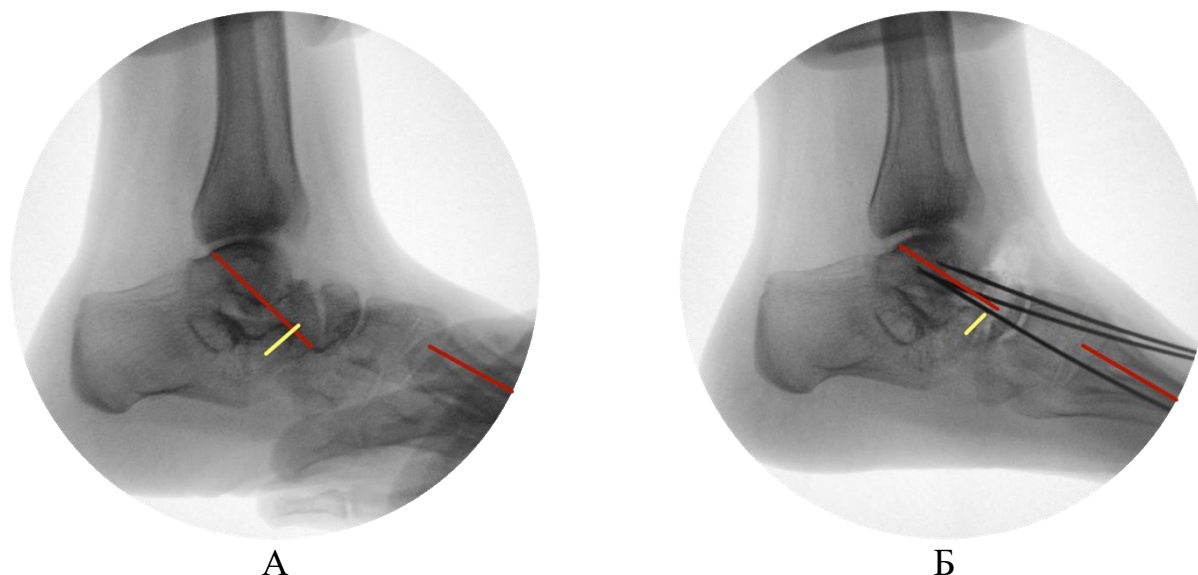


Рисунок 6.40. Изменение геометрии ладьевидно-клиновидных суставов после выполнения артродеза сустава Шопара.

Как можно отметить на рисунке 6.40, суставная поверхность ладьевидной кости в ладьевидно-клиновидных суставах становится сферичной (отмечено зеленым цветом), что свидетельствует об изменении амплитуды движений в суставе.

Таким образом, выполнение артродеза сустава Шопара или таранно-ладьевидного сустава при корректном сопоставлении фрагментов позволяет сохранить часть движений в подтаранном суставе, что, в свою очередь, снижает нагрузку на голеностопный сустав.

Выбор артродезирующего вмешательства обусловлен или выраженными дегенеративными изменениями, или ригидностью деформации и ограниченным потенциалом коррекции посредством периартикулярных остеотомий (рисунок 6.41).



А

Б

Рисунок 6.41. Клинический пример. Ригидная вальгусная деформация стопы. А – боковая рентгенограмма с пассивной инверзией стопы; Б – боковая рентгенограмма после выполнения артродеза таранно-ладьевидного сустава. Красными линиями отмечены оси таранной и I плюсневой кости. Желтыми линиями отмечено таранно-пяточное соотношение.

Как можно увидеть на рисунке 6.41А, при отсутствии мобильности суставов предплюсны (сохраняется нарушение соотношений оси таранной и I плюсневой кости) коррекция деформации за счет остеотомий на уровне клиновидных костей, пяточной кости невозможна. Вершина деформации находится на уровне таранно-ладьевидного сустава. Уменьшение деформации стопы после репозиции таранно-ладьевидного артродеза (нормализация соотношений оси таранной и I плюсневой кости, уменьшение таранно-пяточного соотношения) свидетельствует о мобильности подтаранного сустава (рисунок 6.41Б). В сомнительных случаях интраоперационно выполняется функциональная рентгенография с максимально-возможной коррекцией деформации стопы (рисунок 6.42).

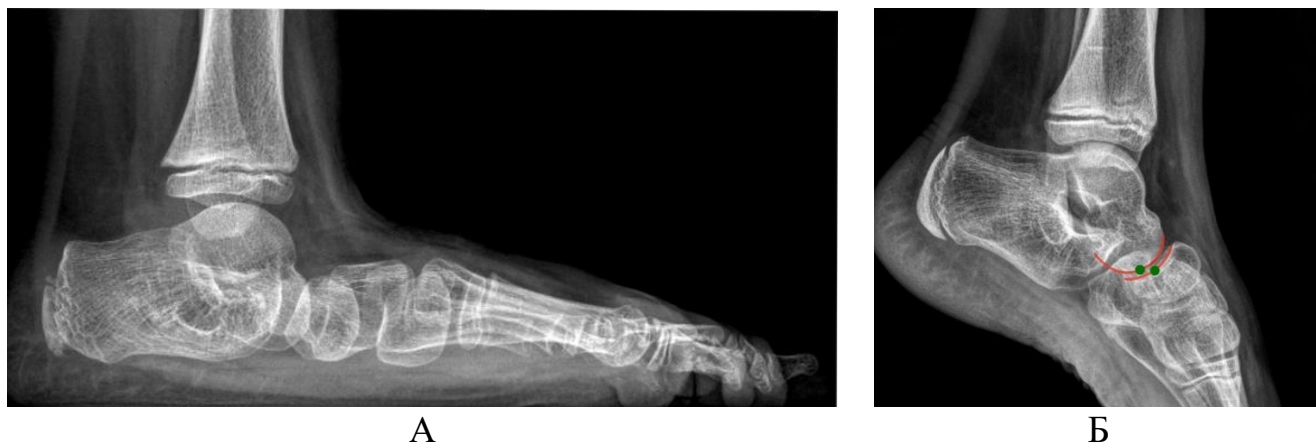


Рисунок 6.42. Интраоперационная оценка мобильности сустава Шопара. А – рентгенография стопы в положении стоя; Б – интраоперационная оценка мобильности сустава Шопара. Красными линиями отмечены контуры суставных поверхностей таранной и ладьевидной кости, зелеными точками – центры суставных поверхностей.

На рисунке 6.42 показано, что при отсутствии удовлетворительной мобильности сустава Шопара (невозможности достижения нейтрального положения в таранно-ладьевидном суставе при пассивной коррекции), коррекция деформации может быть достигнута путем выполнения артродеза таранно-ладьевидного сустава. При невозможности коррекции деформации стопы после выполнения артродеза таранно-ладьевидного сустава, выполняется трехсуставной артродез.

Из вошедших в настоящее исследование пациентов с ригидным плоскостопием артродезирующие вмешательства были выполнены лишь у 10 пациентов (18 стоп). Из них – 6 пациентов с тарзальными коалициями (первичные артродезы и этапные артродезы после выполнения резекции коалиции), 4 пациента – оперированы ранее по месту жительства – медиальные пликации или другие стабилизирующие вмешательства (рисунок 6.43).

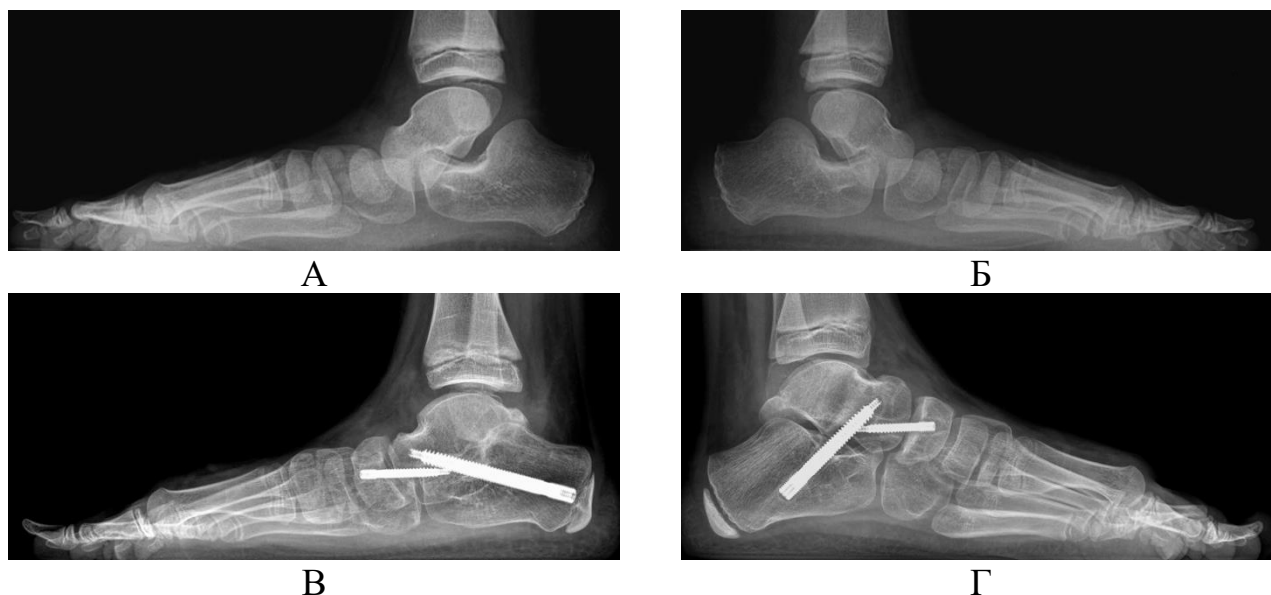


Рисунок 6.43. Клинический пример попытки стабилизации суставов предплюсны при плоскостопии. А, Б – рентгенограммы до лечения; В, Г – рентгенограммы после лечения.

Из рисунка 6.43 следует, что попытка временной стабилизации суставов предплюсны привела к развитию болевого синдрома и спонтанного подтаранного артродеза на левой стопе.

Таким образом, показания к артродезирующим вмешательствам при плоскостопии встречаются редко. Чаще всего это пациенты с вторичными дегенеративными изменениями после ранее выполненных хирургических вмешательств или с тарзальными коалициями. При дегенеративных изменениях в суставе Шопара и сохранении мобильности подтаранного сустава, корректное сопоставление артродеза сустава Шопара позволяет сохранить движения в подтаранном суставе.

6.4 Осложнения после неанатомических методов стабилизации суставов предплюсны

Осложнения после неанатомических методов стабилизации по системе Clavien-Dindo-Sink относились к I – III классам. Общехирургические осложнения в виде поверхностного воспаления не являлись специфическими и встречались в единичных случаях. В двух случаях возник ложный сустав после остеотомии пяточной кости (рисунок 6.44).



Рисунок 6.44. Рентгенограмма стопы пациента с ложным суставом пяточной кости после выполнения удлиняющей остеотомии по Evans (показано красными стрелками).

На рисунке 6.44 продемонстрирован клинический случай, когда после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости в течение 6 месяцев произошел лизис костного аллотрансплантата, сформировался ложный сустав пяточной кости (показано стрелками) и произошла частичная потеря коррекции (нарушение латерального угла Meary).

В одном случае пациент жалоб не предъявлял и проводилось динамическое наблюдение. Одной пациентке в связи с развитием стойкого болевого синдрома потребовалось повторное вмешательство – резекция зоны ложного сустава, аллопластика пяточной кости. В течение 4 месяцев после повторного вмешательства была отмечена полная консолидация пяточной кости.

6.5 Заключение

Таким образом, неанатомические методы стабилизации суставов предплюсны в большинстве своем включают остеотомии пяточной кости и артродезирующие вмешательства. Выбор между разными вариантами удлиняющей остеотомии пяточной кости зависит от мобильности суставов предплюсны. Коррекция деформации стопы посредством остеотомии пяточной кости по Hintermann достигается за счет дезинтеграции фасеток подтаранного сустава и позволяет корригировать все элементы деформации стопы. В связи с этим, основным условием коррекции деформации стопы при остеотомии

Hintermann является мобильность сустава Шопара и подтаранного сустава, позволяющая получить искомую степень коррекции.

Коррекция деформации стопы посредством удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans достигается за счет лигаментотаксиса пяточно-ладьевидной связки. Также установлено, что остеотомия Evans усугубляет эверзионное положение подтаранного сустава и не корригирует вальгус заднего отдела стопы. Исходя из этого, основным условием коррекции деформации стопы при операции Evans является мобильность сустава Шопара. При наличии мобильности подтаранного сустава или сохранении вальгуса заднего отдела после выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans дополнительно производится медиализирующая остеотомия бугра пяточной кости.

Вспомогательные вмешательства при неанатомических методах стабилизации суставов предплюсны малоэффективны и в изолированном виде используются редко.

Артродезирующие вмешательства при ригидном плоскостопии у детей требуются редко и чаще всего связаны с тарзальными коалициями и проведенными ранее вмешательствами на костях и суставах стопы. При выполнении локальных артродезирующих вмешательств на суставе Шопара в случае корректного сопоставления артродеза частично сохраняется мобильность в подтаранном суставе, что, в свою очередь, позволяет замедлить развитие вторичных дегенеративных изменений в голеностопном суставе.

ВЫБОР МЕТОДА СТАБИЛИЗАЦИИ СУСТАВОВ ПРЕДПЛЮСНЫ

7.1 Цель стабилизации суставов предплюсны при плоскостопии

Хирургические вмешательства на суставах предплюсны при лечении детей с плоскостопием носят стабилизирующий характер. Это заключается в ограничении избыточной эверзии на уровне подтаранного сустава, то есть стабилизации подтаранного сустава и сустава Шопара. Как показали результаты проведенных исследований, различные методы стабилизации - артрорез подтаранного сустава и остеотомии пяточной кости – имеют разные показания и зависят от мобильности суставов предплюсны.

Цель хирургической коррекции plano-вальгусной деформации стопы – стабилизация суставов предплюсны, которая необходима для эффективного осуществления пропульсии. Пропульсия начинается в середине-конце одноопорной фазы шага, таким образом, стопа, находящаяся на плоскости опоры, испытывает нагрузку, равную массе тела и его ускорению. При отсутствии стабилизации суставов предплюсны в одноопорную фазу шага, возникает коллапс на уровне среднего отдела стопы и эффективность пропульсии снижается. Это ведет к быстрой усталости и болевому синдрому, связанному с перерастяжением плантарных структур, в первую очередь – подошвенного апоневроза (рисунок 7.1).

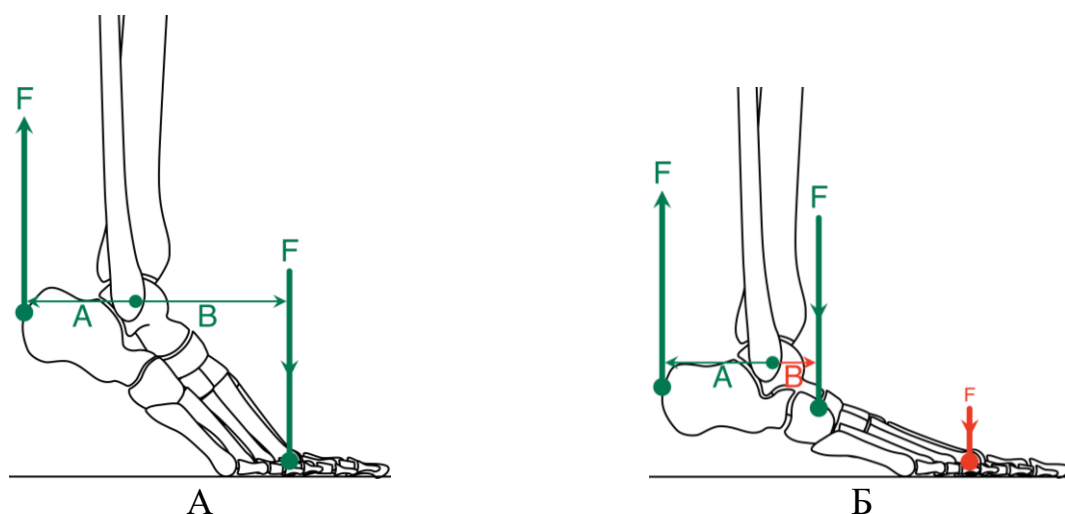


Рисунок 7.1. Схематическое изображение векторов направления сил при осуществлении пропульсии в норме (А) и при плоскостопии (Б).

На рисунке 7.1 схематически показано, что стопу можно рассматривать как рычаг I рода. При этом, точка опоры располагается в центре блока таранной кости. При стабилизации суставов предплюсны (рисунок 7.1А) в момент осуществления пропульсии, большая часть силы от сокращения трехглавой мышцы голени (F) передается на передний отдел, поскольку плечи рычага (А и В) практически равны по длине и длина плеча В становится меньше по мере подошвенного сгибания стопы, что еще больше увеличивает пропульсивное усилие. При функционально или анатомически ригидном плоскостопии (рисунок 7.1Б) отсутствует стабилизация суставов предплюсны при осуществлении пропульсии, это приводит к снижению пропульсивного усилия, поскольку плечо рычага В находится на уровне таранно-ладьевидного сустава. Сила от сокращения трехглавой мышцы голени передается на передний отдел стопы со значительным снижением, что и обуславливает снижение эффективности пропульсии. Эта особенность определяет локализацию болей по подошвенной поверхности стопы у пациентов с ригидным плоскостопием. Хирургическая стабилизация суставов предплюсны способствует сохранению силы пропульсии и эффективной передаче усилия от сокращения трёхглавой мышцы голени на передний отдел, это может проявляться компенсаторными изменениями в костях переднего отдела стопы (рисунок 7.2).



А



Б

Рисунок 7.2. Передне-задние рентгенограммы стопы до стабилизации суставов предплюсны (А) и после артроэреза подтаранного сустава винтом (Б). Красным цветом отмечены изменения во II плюсневой кости.

На рисунке 7.2 видно, что несмотря на минимальную коррекцию латерального смещения ладьевидной кости, возникает компенсаторное утолщение

II плюсневой кости, что свидетельствует об изменении нагрузок на передний отдел в связи с возможностью блокирования суставов предплюсны и повышении пропульсивной силы. У двух пациентов после артроэреза подтаранного сустава на рентгенограммах был выявлен стрессовый перелом II плюсневой кости, который не требовал хирургического лечения и консолидировался самостоятельно.

Для оценки влияния различных биомеханических факторов во время движения проведено построение логистической регрессионной модели. В модель были включены биомеханические параметры походки. Зависимой переменной был коллапс среднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага. По мере исключения незначимых факторов, были проанализированы факторы, оказывающие максимальное значение: тыльное сгибание стопы при пассивном разгибании I пальца, а также тест «вставания на цыпочки на одной ноге». Показатели модели: AIC= 36,4; R^2_{McF} = 0,501; n=44. Данные коэффициентов модели приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Коэффициенты модели биномиальной логистической регрессии – коллапс среднего отдела стопы (n=44)

Предиктор	Вес	SE	p	Отношение шансов
Константа	-3,080	0,9501	0,001	0,046
тыльное сгибание стопы + разгибание I пальца	0,208	0,0693	0,003	1,232
тест вставания на цыпочки на одной ноге: положительный-отрицательный	3,653	1,1330	0,001	38,584
Примечание. Веса представляют собой логарифмические шансы "коллапс среднего отдела (опорная стопа) = нет" по сравнению с "коллапс среднего отдела (опорная стопа) = есть"				

Анализ данных таблицы 7.1 показал, что самым значимым фактором развития коллапса среднего отдела стопы при ходьбе стал результат теста «вставания на цыпочки на одной ноге» - положительный результат теста увеличивает риск развития коллапса стопы при осуществлении пропульсии в 39 раз. При этом, увеличение тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца на 1 градус снижает риск развития коллапса стопы в 1,23 раза. Данные ROC-анализа приведены на рисунке 7.3.

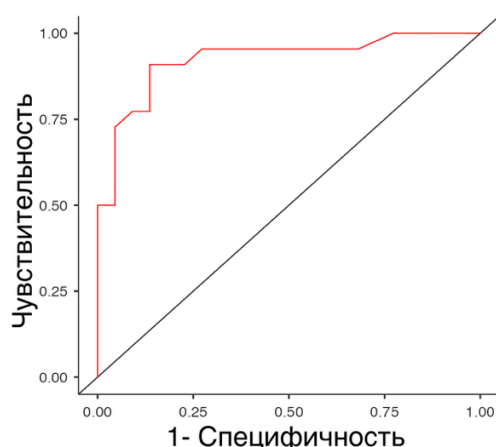


Рисунок 7.3. ROC-анализ для оценки прогностических мер регрессионной модели.

На рисунке 7.3 ROC-кривая близка к верхнему левому углу, что свидетельствует об эффективности модели ($AUC=0,924$). При этом, точность модели составляет 0,864; чувствительность – 0,909; специфичность – 0,818. Таким образом, возможность стабилизации суставов предплюсны в конце одноопорной фазы шага определяет эффективность пропульсии.

При анализе анкетирования пациентов до и после хирургического лечения были выявлены изменения, которые отображены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Результаты оценки жалоб пациентов до и после хирургического лечения ОхAFQ-C (N=163)

Раздел опросника	До лечения	После лечения	
		Артрорез	Остеотомии
Физическое состояние 1	3,24 (2,80; 3,89)	1,48 (1,34; 2,40)	1,64 (1,12; 2,55)
Физическое состояние 2	3,48 (2,56; 4,00)	1,83 (1,56; 2,94)	0,89 (0,80; 2,15)
Физическое состояние 3	2,16 (1,99; 2,44)	0,51 (0,13; 0,90)	1,04 (0,80; 1,11)
Физическое состояние 4	3,78 (3,70; 4,00)	2,18 (1,51; 3,38)	1,12 (1,01; 1,62)
Физическое состояние 5	3,67 (3,15; 3,89)	2,03 (1,01; 2,18)	1,01 (0,82; 2,04)
Физическое состояние 6	3,94 (2,56; 3,88)	0,14 (0,11; 1,34)	0,28 (0,21; 1,18)
Школа и игры 7	1,89 (0,84; 3,15)	0,03 (0,01; 0,54)	0,11 (0,08; 0,33)
Школа и игры 8	1,95 (1,80; 3,33)	0,26 (0,18; 1,00)	0,13 (0,11; 0,58)
Школа и игры 9	3,24 (3,03; 3,56)	1,07 (0,93; 1,38)	1,43 (1,40; 1,56)
Школа и игры 10	1,22 (1,01; 2,00)	0,98 (0,18; 1,29)	1,01 (0,39; 1,23)
Эмоции 11	3,43 (2,11; 4,13)	0,39 (0,19; 0,54)	0,23 (0,11; 0,98)
Эмоции 12	3,17 (2,93; 3,84)	0,39 (0,02; 0,83)	0,24 (0,16; 0,91)
Эмоции 13	1,24 (1,11; 1,67)	0,83 (0,02; 1,38)	1,01 (0,11; 1,42)
Эмоции 14	0,68 (0,45; 1,02)	0,53 (0,25; 0,74)	0,49 (0,14; 0,85)
Обувь 15	3,18 (2,44; 3,67)	0,23 (0,02; 0,34)	0,19 (0,07; 0,58)

Анализ приведенных в таблице 7.2 данных показал, что наиболее значимые изменения после хирургического лечения по результатам анкетирования касались физического состояния, то есть возможностей переносить различные физические нагрузки (физическое состояние 1-3). Менее выраженные изменения касались выраженности болевого синдрома (физическое состояние 4-5). Стоит отметить, что в большей степени болевой синдром сохранялся в группе пациентов, которым выполнялись различные варианты артроэрезов подтаранного сустава. При этом, чаще всего пациенты после артроэреза подтаранного сустава предъявляли жалобы на боли в области тарзального синуса. Кроме того, те пациенты, которым были установлены подтаранные импланты, чаще предъявляли жалобы на боли, а пациенты, которым были установлены стопорные винты, эпизодически жаловались на боли в области тарзального синуса. У пациентов, которым были выполнены остеотомии, боли чаще всего локализовались по передней поверхности голеностопного сустава, однако, интенсивность болевого синдрома была ниже. Таким образом несмотря на то, что уменьшение болевого синдрома было отмечено в меньшей степени по отношению к другим разделам шкалы-опросника, в результате проведенного лечения, болевой синдром существенно изменился. Боль по подошвенной поверхности стопы, связанная с травматизацией подошвенного апоневроза, чаще всего беспокоящая пациентов с ригидным плоскостопием, после стабилизации суставов предплюсны практически не встречалась. Болевой синдром меньшей интенсивности, встречающийся после хирургического лечения, был обусловлен или раздражением ноцицепторов в тарзальном синусе (чаще всего пациенты с подтаранными имплантами) или вторичными изменениями в голеностопном суставе, связанными с избыточной коррекцией.

При оценке жалоб у пациентов с плоскостопием было выявлено, что пациенты с функционально ригидным и анатомически ригидным плоскостопием имели различия в локализации болевого синдрома в повседневной жизни (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Частота локализации болевого синдрома у пациентов с разными видами ригидного плоскостопия до лечения (n/ %)

Локализация болевого синдрома	Анатомически ригидное плоскостопие (n=56)	Функционально ригидное плоскостопие (n=73)
Передняя поверхность голени	13/ 23,2%	26/ 35,6%
Задняя поверхность голени*	2/ 3,6%	27/ 37%
Подошвенная поверхность стопы	39/ 69,6%	56/ 76,7%
Медиальная поверхность стопы	17/ 30,4%	23/ 31,5%
Латеральная поверхность стопы*	34/ 60,7%	4/ 5,5%
Тыльная поверхность стопы*	24/ 42,9%	9/ 12,3%
Передняя поверхность голеностопного сустава*	13/ 23,2%	3/ 4,1%
* p <0,05; тест Brunner-Munzel		

Как можно увидеть в таблице 7.3, дети с плоскостопием чаще всего предъявляли жалобы на боли по подошвенной поверхности стопы и передней поверхности голени. Пациенты с анатомически ригидным плоскостопием, помимо болей по подошвенной поверхности стопы, предъявляли жалобы на боли в области локализации причины анатомической ригидности – аномалии развития костей предплюсны (область подтаранного сустава по медиальной поверхности стопы, область переднего отростка пяточной кости), а также в области сустава Шопара и передней части голеностопного сустава. Пациенты с функционально ригидным плоскостопием чаще всего жаловались на боли по подошвенной поверхности стопы. Указанная локализация болевого синдрома у пациентов с нарушением анатомии и функции стопы указывает на причину развития болевого синдрома. У детей с функционально ригидным плоскостопием основной причиной болевого синдрома является нарушение стабилизации суставов предплюсны в конце одноопорной фазы шага. Боль по подошвенной поверхности стопы связана с растяжением и травматизацией подошвенного апоневроза в связи с нарушением работы механизма «лебедки» и стабилизации суставов предплюсны. У детей с анатомически ригидным плоскостопием, помимо болей по подошвенной поверхности стопы, болевой синдром был связан с компенсаторной перегрузкой суставов предплюсны в середине одноопорной фазы шага. Боли в области переднего отдела голеностопного сустава, тыльной части сустава Шопара, а также

в области локализации коалиции являются следствием ограничения тыльного сгибания стопы в связи со снижением периталлярного движения. После проведенного хирургического лечения частота и интенсивность болевого синдрома значительно снижалась, также менялся характер болей (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Частота локализации болевого синдрома у пациентов с разными видами ригидного плоскостопия после лечения (n/ %)

Локализация болевого синдрома	Анатомически ригидное плоскостопие (n=34)	Функционально ригидное плоскостопие (n=48)
Передняя поверхность голени	2/ 5,9%	2/ 4,2%
Задняя поверхность голени	-	4/ 8,3%
Подошвенная поверхность стопы	4/ 11,8%	3/ 6,3%
Медиальная поверхность стопы	1/ 2,9%	-
Латеральная поверхность стопы	14/ 41,2%	18/ 37,5%
Тыльная поверхность стопы*	9/ 26,5%	4/ 8,3%
Передняя поверхность голеностопного сустава*	15/ 44,2%	9/ 18,8%
* p < 0,05; тест Brunner-Munzel		

Как видно из таблицы 7.4, после хирургической коррекции деформации стопы, частота болевого синдрома в обеих группах ригидного плоскостопия значительно снизилась по сравнению с дооперационным периодом. Исключением является болевой синдром по передней поверхности голеностопного сустава – количество пациентов, предъявляющих жалобы на боли в данной области, увеличилось. Также отмечается увеличение жалоб на боли в латеральной части стопы у пациентов с функционально и анатомически ригидным плоскостопием. Стоит отметить, что боли в латеральной части стопы у детей с плоскостопием после лечения чаще всего были связаны с наличием металлоконструкции (винта в таранной и пяточной кости или подтаранного импланта), а боли в этой части стопы до хирургического лечения чаще были связаны с аномалиями развития костей предплюсны (пяточно-ладьевидная коалиция, добавочная фасетка подтаранного сустава). Болевой синдром по передней поверхности голеностопного сустава напрямую был связан с величиной коррекции деформации стопы. Так, при избыточной коррекции деформации стопы, увеличивался риск развития болевого

синдрома в передней части голеностопного сустава. Это связано с развитием переднего импинджмента голеностопного сустава.

Таким образом, характер болевого синдрома у детей с анатомически ригидным и функционально ригидным плоскостопием различался в связи с наличием у пациентов с анатомически ригидным плоскостопием аномалий развития костей предплюсны, которые также обуславливали болевой синдром. Однако, в обеих группах ригидного плоскостопия преобладали жалобы на боли по подошвенной поверхности стопы, которые были связаны с отсутствием стабилизации суставов предплюсны во время осуществления пропульсии. После стабилизации суставов предплюсны, боли по подошвенной поверхности стопы значительно реже встречались. Это свидетельствует об отсутствии травматизации подошвенного апоневроза вследствие стабилизации суставов предплюсны в одноопорную фазу шага и эффективной передаче усилия от сокращения трехглавой мышцы голени на передний отдел стопы.

7.2 Определение оптимального возраста для коррекции деформации стопы

Для определения влияния возраста пациента на потенциал коррекции деформации стопы было проведено исследование, заключающееся в оценке величины коррекции деформации стопы в зависимости от возраста пациента при использовании артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную и пяточную кость. По основным рентгенологическим и подометрическим параметрам стоп была построена модель линейной регрессии, в которой возраст пациента был зависимой переменной, а клинико-рентгенологические показатели коррекции – ковариатами. Полученная модель характеризовалась высокими показателями значимости – $R=0,699$ и описывала около половины выборки ($R^2=0,489$). Показатели коэффициентов модели приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Коэффициенты линейной регрессионной модели с зависимой переменной «возраст» (n=135)

Предиктор	Bec	SE	t	p
Константа	42,94088	11,3622	3,779	<0,001
угол Kite AP	-0,08596	0,0412	-2,087	0,039
угол Meary AP	-0,20529	0,0376	-5,459	<0,001
угол латерального смещения ладьевидной кости	-0,10513	0,0290	-3,630	<0,001
угол Kite Lat	-0,04533	0,0624	-0,727	0,469
угол Meary Lat	0,00811	0,0725	0,112	0,911
угол наклона пяточной кости	0,01236	0,0247	0,500	0,618
таранно-пяточное соотношение	0,01402	0,0248	0,565	0,573
большеберцово-таранный угол	0,00954	0,0351	0,272	0,786
угол продольного свода	-0,02818	0,0580	-0,486	0,628
угол тарзального синуса	-0,06242	0,0218	-2,860	0,005
угол Dahle	-0,08219	0,0318	-2,581	0,011
вальгус заднего отдела	-0,05603	0,0442	-1,267	0,208
индекс Фридланда	-0,35889	0,1308	-2,744	0,007

Анализ данных таблицы 7.5 свидетельствует, что по параметрам, имеющим статистическую значимость, отмечалась прямопропорциональная связь — с уменьшением возраста пациента уменьшался потенциал коррекции. Влияние возраста пациента на величину коррекции деформации на примере передне-заднего угла Meary приведено на рисунке 7.4.

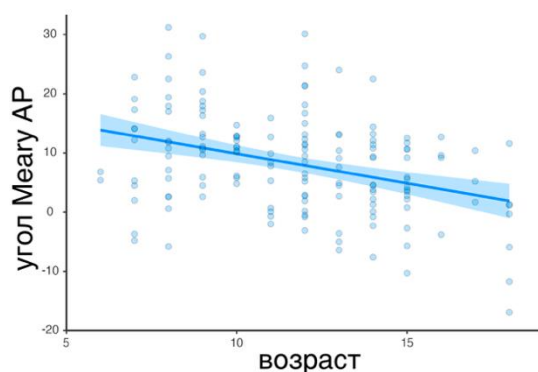


Рисунок 7.4. Линейная регрессионная между передне-задним углом Meary и возрастом пациента при артроэрезе подтаранного сустава винтом.

На графике рисунка 7.4 показано, что с увеличением возраста пациента отмечается уменьшение угла Meary, то есть, увеличение степени коррекции деформации.

Таким образом, гипотеза о необходимости выполнения артроэреза подтаранного сустава винтом до возраста 12 лет не подтвердилась. Кроме того, по

данным регрессионной модели, а также частоте встречаемости периимплантного лизиса (рисунок 5.55, глава 5), оптимальный возраст выполнения артроэреза подтаранного сустава винтом составляет 13 лет.

7.3 Планирование величины коррекции деформации стопы

При оценке частоты болей по передней поверхности голеностопного сустава (таблица 7.4) было установлено, что чаще всего боли в данной локализации наблюдались у пациентов с избыточной коррекцией деформации стопы или у пациентов с ограничением мобильности суставов предплюсны. У пациентов с инверзионным положением подтаранного сустава (таранно-пяточное соотношение менее 10%) были отмечены дегенеративные изменения в передних отделах голеностопного сустава через 3 – 5 лет после хирургического лечения (рисунок 7.5).

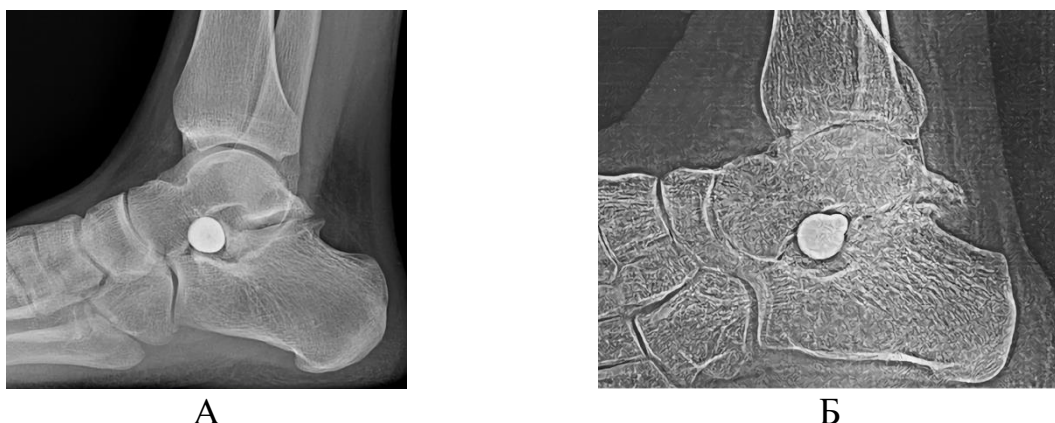


Рисунок 7.5. Развитие дегенеративных изменений в передних отделах голеностопного сустава после фиксации подтаранного сустава в положении инверзии. А – через 1 год после хирургического лечения; Б – через 5 лет после хирургического лечения.

Инверзионное положение подтаранного сустава, а также снижение амплитуды движений в нем приводит к снижению периталлярного движения и концентрации нагрузки в переднем отделе голеностопного сустава (рисунок 7.6).



Рисунок 7.6. Начальные дегенеративные изменения в переднем отделе голеностопного сустава вследствие гиперкоррекции эверзионного положения подтаранного сустава.

Как можно увидеть из рисунка 7.6, избыточная коррекция деформации стопы (эверзии подтаранного сустава) приводит к увеличению тыльного сгибания стопы в голеностопном суставе в конце одноопорной фазы шага, что проявляется дегенеративными изменениями в переднем отделе голеностопного сустава. В связи с этим, гиперкоррекция вальгусной деформации стопы при ограничении мобильности в подтаранном суставе может привести перегрузочным изменениям переднего отдела голеностопного сустава (рисунок 7.7).



Рисунок 7.7. Клинический пример. Пациентка 8 лет, таранно-пяточная коалиция. А – боковая рентгенограмма стопы до лечения; Б – боковая рентгенограмма стопы и МРТ голеностопного сустава (В) через 7 лет после выполнения подтаранного артродеза.

Как можно увидеть на рисунке 7.7А, у пациентки до проведения лечения отмечалось эверзионное положение подтаранного сустава (линиями красного цвета

отмечен латеральный угол Kite). В связи с наличием болей (преимущественно по подошвенной поверхности стопы) в 12 лет выполнена резекция коалиции и репозиционный артродез подтаранного сустава ввиду выраженных дегенеративных изменений в области задней фасетки подтаранного сустава. На боковой рентгенограмме через 7 лет после артродеза подтаранного сустава отмечается его инверзионное положение (рисунок 7.7Б). При выполнении МРТ голеностопного сустава (рисунок 7.7В) можно увидеть признаки переднего импинджмента голеностопного сустава (отмечено красным цветом), что связано с ограничением мобильности подтаранного сустава. На момент осмотра пациентка отмечала эпизодические боли в области голеностопного сустава. Исходя из инверзионного положения на уровне артродеза подтаранного сустава, можно предположить, что у данной пациентки болевой синдром будет прогрессировать.

Основная нагрузка на передний отдел голеностопного сустава происходит в одноопорную фазу шага, когда вся масса тела распределяется на опорную конечность. В связи с этим, было проведено исследование сагиттальных параметров стопы и голени в одноопорную фазу шага (рисунок 7.8).

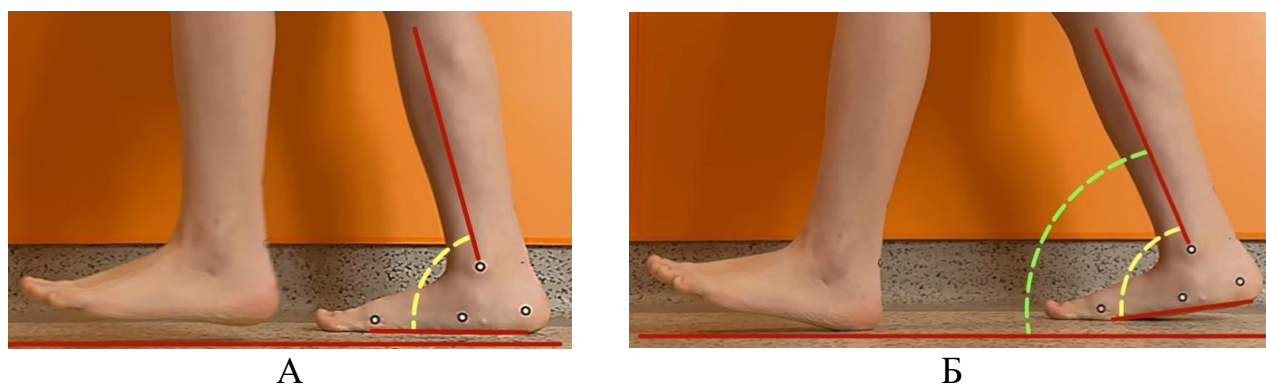


Рисунок 7.8. Определение величины тыльного сгибания стопы и наклона голени в одноопорную фазу. А – максимальное тыльное сгибание стопы при контакте всей подошвенной поверхности с плоскостью опоры (пунктирная линия желтого цвета); Б – тыльное сгибание стопы пунктирная линия желтого цвета) и наклон голени в конце одноопорной фазы шага пунктирная линия зеленого цвета).

На рисунке 7.8 показано, что выполнено измерение тыльного сгибания стопы в одноопорной фазе шага при полном контакте подошвенной поверхности стопы с плоскостью опоры (рисунок 7.8А). Также произведена оценка угла наклона голени

к плоскости опоры и величины тыльного сгибания стопы в конце одноопорной фазы шага – при начале контакта заднего отдела контралатеральной стопы (рисунок 7.8Б).

В результате исследования выявлено, что величина наклона голени в конце одноопорной фазы шага не имела различий до и после хирургического лечения, в то же время величина тыльного сгибания стопы имела статистические различия после хирургического лечения (таблица 7.6).

Таблица 7.6 – Показатели тыльного сгибания стопы и наклона голени в одноопорную фазу шага (n=62)

Показатель	Медиана		Statistic	df	p
	до лечения	после лечения			
Максимальное тыльное сгибание стопы при опоре/°	11,5	15,2	4,109	25,8	<0,001
Наклон голени в конце одноопорной фазы/°	65,6	65,9	-0,108	15,8	0,916
Тыльное сгибание стопы в конце одноопорной фазы/°	14,2	17,7	2,946	20,9	0,008
*тест Brunner-Munzel					

Как можно отметить из таблицы 7.6, величина наклона голени в конце одноопорной фазы шага практически не изменилась после хирургического лечения. С другой стороны, максимальное тыльное сгибание стопы при опоре на всю стопу и в конце одноопорной фазы значительно увеличилось, о чем свидетельствуют показатели тестовой статистики и степени свободы. При этом, у пациентов с плоскостопием до хирургического лечения увеличение тыльного сгибания стопы было обусловлено периталлярным движением и коллапсом стопы, а после хирургического лечения периталлярное движение уменьшается и тыльное сгибание стопы происходит преимущественно в голеностопном суставе. Таким образом, для снижения нагрузки на передние отделы голеностопного сустава, величина тыльного сгибания стопы после стабилизации суставов предплюсны должна быть не менее 15-20°. Это необходимо учитывать при определении величины коррекции деформации стопы, поскольку уменьшение эверзии

подтаранного сустава приводит к ограничению тыльного сгибания стопы (рисунок 7.9.).



Рисунок 7.9. Рентгенограммы стоп после различных вариантов стабилизации суставов предплюсны. А — двойная остеотомия пяточной кости; Б — артролиз подтаранного сустава винтом.

Как можно увидеть на рисунке 7.9А, при положении тыльного сгибания стопы 14°, голеностопный сустав находится в крайнем положении тыльного сгибания (красным цветом отмечено, что вся суставная поверхность блока таранной кости находится под суставной поверхностью большеберцовой кости). На рисунке 7.9Б, стопа находится в положении тыльного сгибания 7°, при этом отмечается расширение щели голеностопного сустава в задней части (отмечено красным цветом). Исходя из полученных данных, средняя величина тыльного сгибания стопы в одноопорную фазу шага варьирует от 15 до 20°. При аналогичных ситуациях подобные особенности анатомии голеностопного сустава (положение таранной кости, расположение суставной поверхности блока таранной кости, уменьшение тыльного наклона плато большеберцовой кости) наряду с ограничением периталлярного движения могут привести к явлениям переднего импинджмента голеностопного сустава и дегенеративным изменениям. Стоит отметить, что признаки переднего импинджмента по рентгенограммам и МРТ не всегда коррелируют с клинической картиной. Клинический пример приведен на рисунке 7.10.

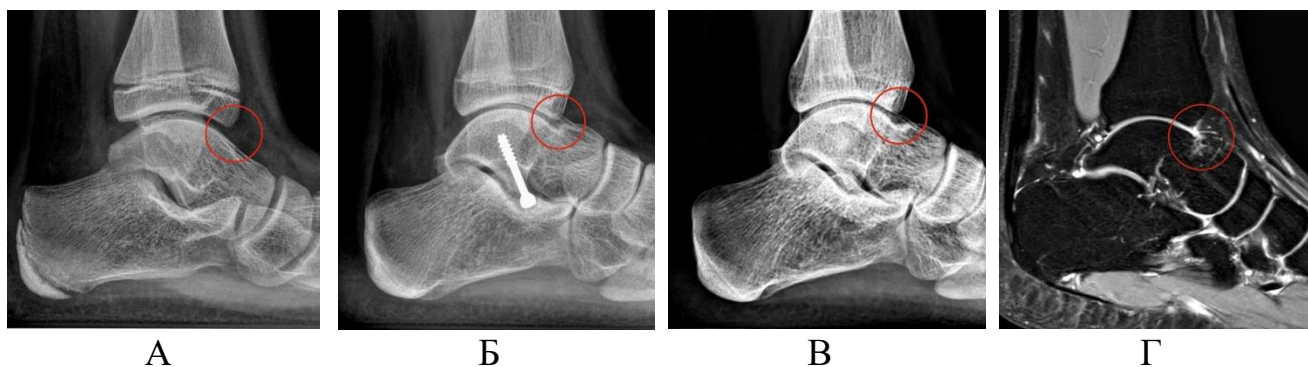


Рисунок 7.10. Признаки переднего импинджмента голеностопного сустава на рентгенограммах и МРТ. А – до лечения; Б – после артроэреза подтаранного сустава; В – после удаления винта; Г – МРТ после удаления винта.

На рисунке 7.10 видно, что у пациента после артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость отмечается снижение расстояния между тыльной частью шейки таранной кости и передним краем большеберцовой кости (отмечено красным цветом). На МРТ в этой зоне визуализируется трабекулярный отек таранной кости и явления синовита. Данный пациент предъявлял жалобы на эпизодические боли в передней части голеностопного сустава после физических нагрузок, в повседневной жизни болевой синдром не беспокоил.

Для оценки положения таранной кости после реконструкции стопы был проведен анализ изменения таранно-большеберцового угла. При проведении однофакторного дисперсионного анализа Kruskal–Wallis были получены значимые различия по видам хирургической коррекции деформации стопы ($\chi^2=43,8$; $df=2$; $\epsilon^2=0,248$; $p < 0,001$). Данные попарного сравнения приведены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Попарные сравнения Dwass–Steel–Critchlow–Fligner изменений таранно-большеберцового угла в зависимости от вида хирургического лечения (n=56)

Пары сравнения	W	p
Винт в пяточную кость - винт в таранную кость	9,274	<0,001
Винт в пяточную кость - удлиняющая остеотомия пяточной кости	5,125	<0,001
Винт в таранную кость - удлиняющая остеотомия пяточной кости	-0,657	0,888
Подтаранный имплант - винт в пяточную кость	-9,673	<0,001
Подтаранный имплант - винт в таранную кость	-0,857	0,942
Подтаранный имплант - удлиняющая остеотомия пяточной кости	-0,989	0,993

Как видно из таблицы 7.7, были выявлены значимые различия по изменению таранно-большеберцового угла между артролизом подтаранного сустава с использованием винта в пяточную кость и другими видами артролиза и удлиняющей остеотомией пяточной кости. При этом, по величине тестовой статистики – самые существенные различия были между артролизом с использованием подтаранного импланта, винта в таранной и пяточной кости. По полученным данным можно заключить, что методы стабилизации, обладающие максимальным потенциалом коррекции, также в большей степени приводят к горизонтализации таранной кости.

Для определения положения таранной кости в качестве предрасполагающего фактора к переднему импинджменту голеностопного сустава, был проведен анализ рентгенограмм стоп в положении стоя в боковой проекции. По рентгенограммам отмечались рентгенологические признаки переднего импинджмента: сужение щели голеностопного сустава в передних отделах, краевые разрастания в передних отделах голеностопного сустава. По полученным данным было отмечено, что признаки переднего импинджмента голеностопного сустава наблюдались при показателях большеберцово-таранного угла более 70° . Графики полученных данных изображены на рисунке 7.11.

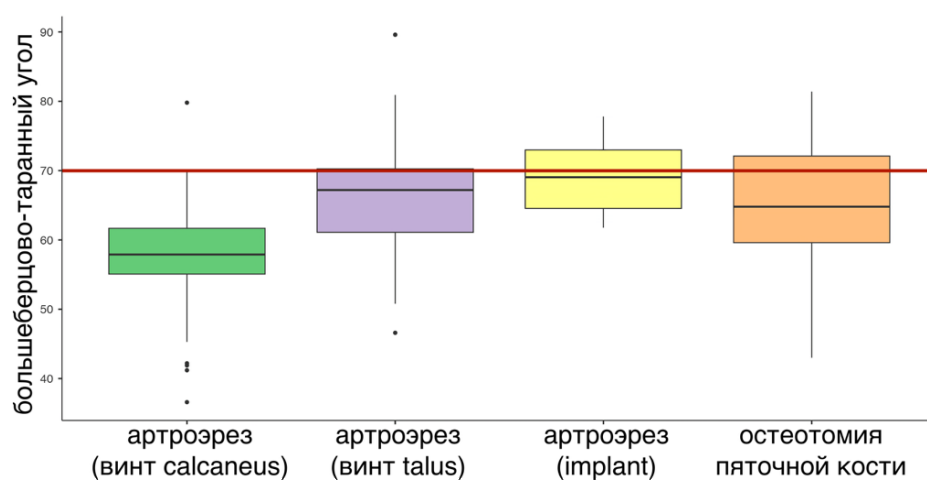


Рисунок 7.11. Показатели большеберцово-таранного угла у пациентов с различными вариантами стабилизации суставов предплюсны (n=56).

На рисунке 7.11 отмечено, что горизонтализация таранной кости наблюдалась у пациентов, которым был выполнен артролиз подтаранным

имплантом. Рентгенологически признаки переднего импинджмента голеностопного сустава практически не встречались у пациентов с артрорезом подтаранного сустава с использованием винта в пяточной кости и чаще всего встречались у пациентов с подтаранными имплантами (красная линия отмечает пограничное положение большеберцово-таранного угла - 70°). Таким образом, рентгенологические проявления переднего импинджмента голеностопного сустава связаны в первую очередь не с методом стабилизации суставов предплюсны, а с величиной коррекции деформации стопы (рисунок 7.12).

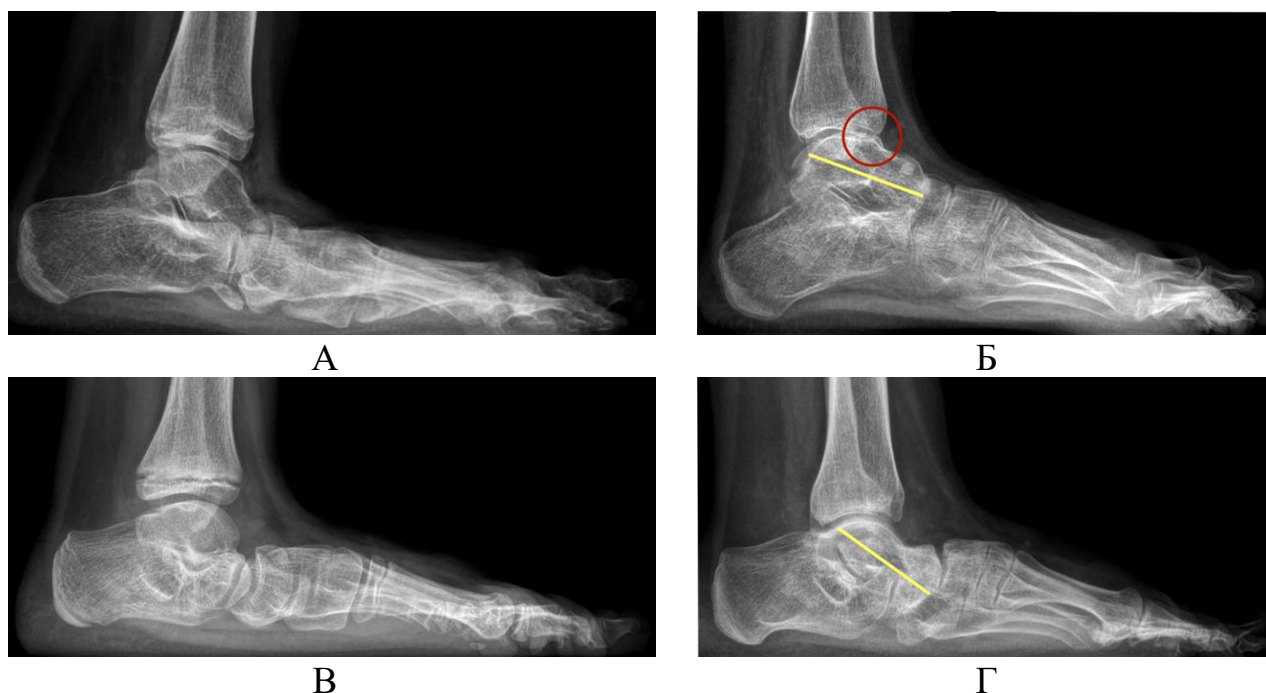


Рисунок 7.12. Клинические примеры состояния голеностопного сустава в зависимости от величины коррекции положения таранной кости. А, Б – клинический пример до (А) и после (Б) избыточной коррекции деформации стопы; В, Г – клинический пример до (В) и после (Г) частичной коррекции деформации стопы.

Как можно увидеть на рисунке 7.12 несмотря на то, что обоим пациентам выполнен артродез таранно-ладьевидного сустава, дегенеративные изменения в переднем отделе голеностопного сустава развились при более горизонтальном расположении таранной кости, т.е., избыточной коррекции plano-вальгусной деформации стопы. Избыточная коррекция приводит к горизонтализации таранной кости и перегрузке переднего отдела голеностопного сустава в одноопорную фазу

шага. Кроме того, для стабилизации суставов предплюсны при ходьбе не всегда требуется полная коррекция деформации стопы (рисунок 7.13).

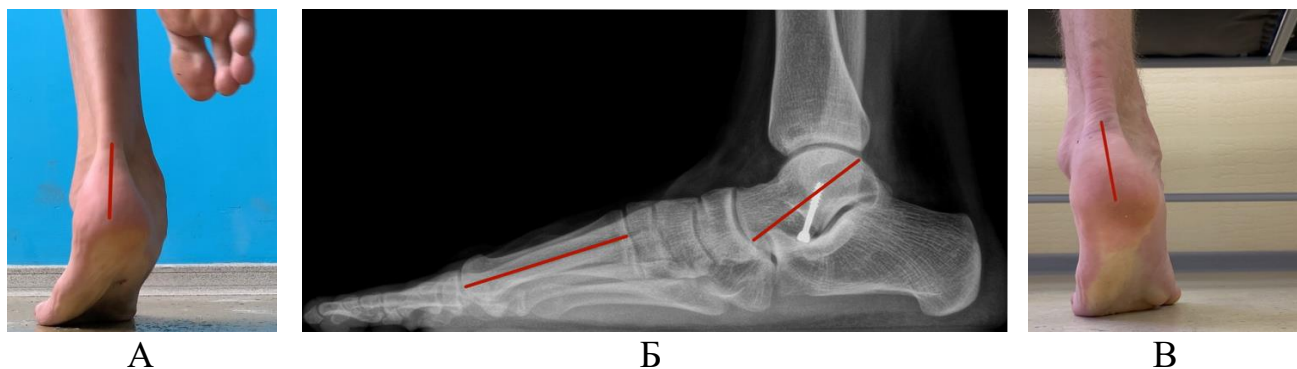


Рисунок 7.13. Клинический пример. Функциональное ригидное плоскостопие. А – тест «вставания на цыпочки на одной» ноге до лечения; Б, В – рентгенография стопы и тест «вставания на цыпочки на одной ноге» после лечения.

Как видно на рисунке 7.13А, у пациента сохранялся вальгус заднего отдела стопы при «вставания на цыпочки на одной ноге» до лечения. Несмотря на неполную коррекцию деформации стопы (рисунок 7.13Б) и нарушение соотношений между осями I плюсневой и таранной кости, после лечения у пациента тест «вставания на цыпочки на одной ноге» стал отрицательным, то есть появилась возможность стабилизировать суставы предплюсны в одноопорную фазу шага.

При коррекции деформации стопы интраоперационно сложно ориентироваться на таранно-большеберцовый угол, поскольку он оценивается в положении стоя. Наиболее практичным методом оценки является определение таранно-пяточного соотношения при выполнении функциональной боковой рентгенографии с эверзией подтаранного сустава. Такой метод оценки позволяет экстраполировать данные функциональной рентгенографии на рентгенографию в положении стоя, поскольку подтаранный сустав занимает крайнее положение эверзии. При оценке корреляционной связи между этими рентгенометрическими параметрами была выявлена умеренная отрицательная корреляционная связь ($r = -0,48$; $p < 0,05$). Исходя из этого, было рассчитано значение таранно-пяточного соотношения при пороговом значении большеберцово-таранного угла – 70° (рисунок 7.14).

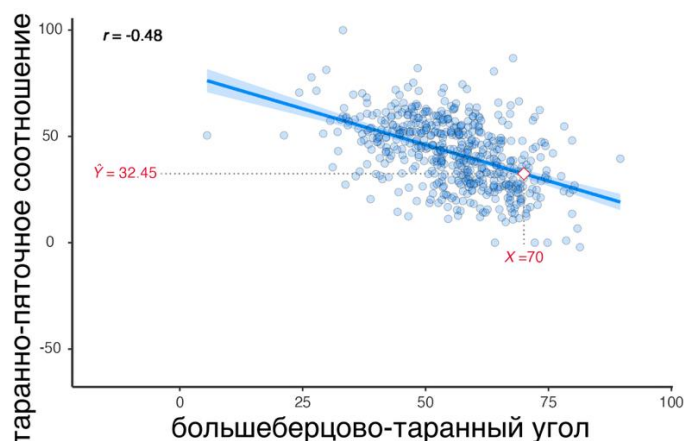


Рисунок 7.14. График регрессионной модели между таранно-пяточным соотношением и большеберцово-таранным углом ($n=321$).

Как видно на рисунке 7.14, значение большеберцово-таранного угла 70° соответствует средней величине таранно-пяточного соотношения – 30° . Таким образом, стабилизация подтаранного сустава при таранно-пяточном соотношении 30° и более снижает вероятность развития переднего импинджмента голеностопного сустава с одной стороны и позволяет стабилизировать суставы предплюсны в одноопорную фазу шага с другой стороны. Стоит отметить, что данный критерий актуален для методов анатомической стабилизации (артроэрез подтаранного сустава), потому что при неанатомической стабилизации, к примеру, остеотомии пяточной кости по Evans, подтаранный сустав занимает эверзионное положение.

При ходьбе подтаранный сустав занимает эверзионное и инверзионное положение в зависимости от фазы шага. Инверзионное положение необходимо для блокирования суставов предплюсны и эффективного осуществления пропульсии. Напротив, эверзионное положение необходимо для распределения нагрузки от веса тела и увеличения тыльного сгибания стопы (периталлярное движение). Для оценки мобильности подтаранного сустава после удаления имплантов было проведено исследование, заключающееся в оценке боковых рентгенограмм в положении стоя, а также функциональных боковых рентгенограмм в положении максимальной эверзии и инверзии подтаранного сустава (рисунок 7.15).

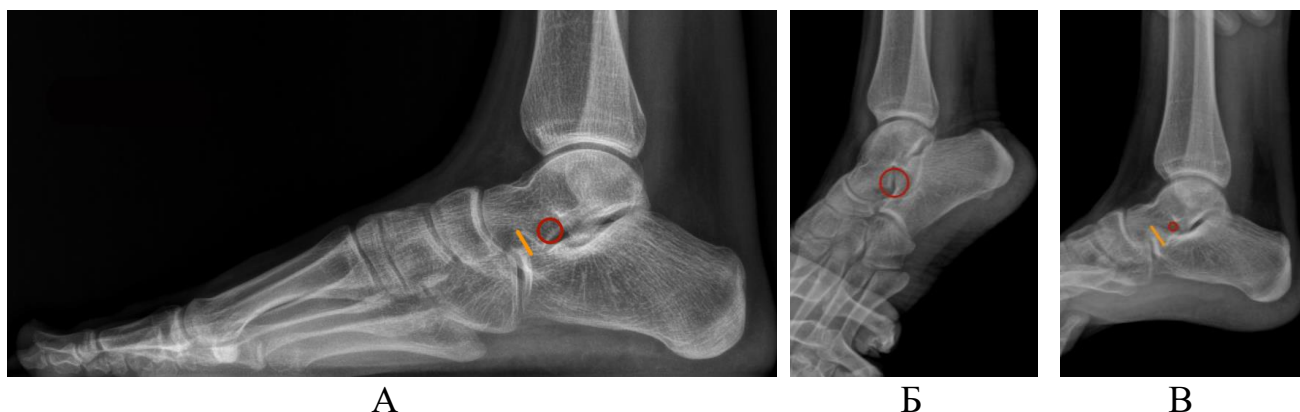


Рисунок 7.15. Клинический пример. Пациент, 15 лет. 2 года после удаления винта из таранной кости. А – положение подтаранного сустава в положении стоя; Б, В – изменение положения подтаранного сустава при инверсии (Б) и эверсии (В). Красным цветом отмечен размер тарзального синуса, желтой линией показано таранно-пяточное соотношение.

Оценка мобильности подтаранного сустава после удаления подтаранных имплантов заключалась в расчете угла тарзального синуса в трех положениях – положение стоя, положение инверсии и эверсии подтаранного сустава. Полученные данные приведены в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Оценка мобильности подтаранного сустава по функциональным рентгенограммам у пациентов после удаления имплантов

Величина угла тарзального синуса/°	Вид артроэреза подтаранного сустава		
	подтаранный имплант n=28	винт в пяточную кость n=21	винт в таранную кость n=36
в положении стоя	63,8 (53,2; 69,4)	40,9 (31,1; 42,5)	46,6 (34,5; 49,8)
инверзия	68,9 (57,1; 71,8)	69,4 (61,3; 76,4)	66,9 (54,4; 71,3)
эверзия	55,4 (43,2; 69,4)	36,8 (31,2; 42,4)	39,1 (33,9; 45,1)

Как можно увидеть в таблице 7.8, в группе пациентов, которым выполнялся артрорез с использованием подтаранных имплантов, отмечалась самая большая коррекция эверзионного положения подтаранного сустава – медианный угол тарзального синуса на боковых рентгенограммах в положении стоя составил 63,8° по сравнению с группами пациентов с использованием стопорных винтов (40,9° и 46,6°; $p < 0,05$; тест Brunner-Munzel). Это связано с особенностями блокирования движений в подтаранном суставе имплантом. Стабильность

импланта достигается путем подбора его размера в положении инверзии подтаранного сустава. В случае использования импланта меньшего размера, повышаются риски его миграции, поскольку при ходьбе размеры тарзального синуса меняются и имплант может мигрировать. С другой стороны, у пациентов с использованием подтаранных имплантов отмечалась самая низкая амплитуда движений в подтаранном суставе – $13,5^\circ$ по сравнению с пациентами с использованием стопорных винтов ($32,6-27,8^\circ$; $p < 0,05$; тест Brunner-Munzel). Значимых различий по амплитуде движений в подтаранном суставе в группах пациентов с разными видами стопорных винтов не было. Полученные данные свидетельствуют о том, что после удаления подтаранных имплантов подтаранный сустав находится в более инверзионном положении по сравнению с пациентами со стопорными винтами, а также амплитуда движений в подтаранном суставе после удаления подтаранного импланта остается сниженной.

Таким образом, при выборе метода хирургического лечения детей с плоскостопием необходимо соблюдение двух условий. Первое – это создание возможности для стабилизации, то есть блокирования суставов предплюсны при осуществлении пропульсии в середине и конце одноопорной фазы шага. Второе – сохранение периталлярного движения для увеличения тыльного сгибания стопы в начале и середине одноопорной фазы шага. Первое условие достигается путем выполнения артроэреза подтаранного сустава или остеотомии пяточной кости. Второе условие предполагает дозирование коррекции деформации стопы.

При анализе клинических, рентгенологических и биомеханических данных было отмечено, что наибольший потенциал коррекции деформации стопы достигается при использовании стопорного винта в таранной кости. Однако, основным условием корректной установки винта в таранную кость является возможность пассивного выведения подтаранного сустава в положение максимальной инверзии – нулевой дивергенции, когда оси таранной и пяточной кости в горизонтальной плоскости становятся параллельными (положительный тест «мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава»). При

таком положении подтаранного сустава возможно провести направляющую спицу для винта максимально вертикально (рисунок 7.16).

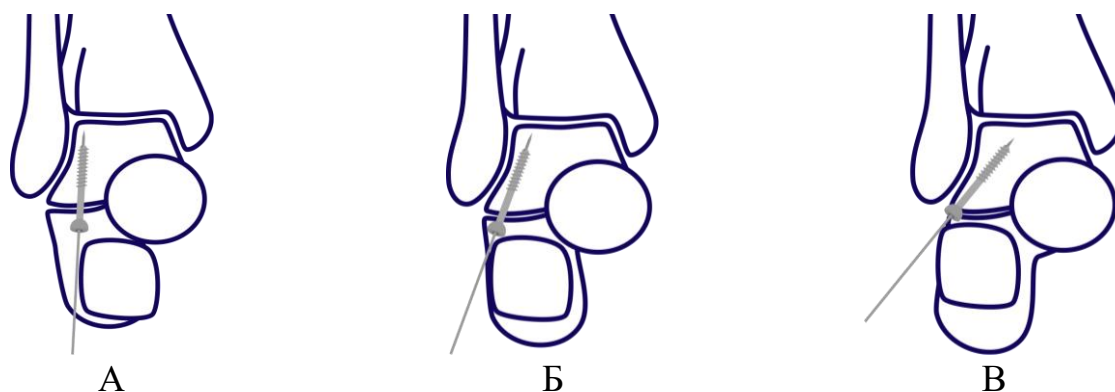


Рисунок 7.16. Возможности установки винта в таранную кость в зависимости от положения максимальной инверзии подтаранного сустава. А – положение нулевой дивергенции; Б – промежуточное положение; В – ограничение мобильности подтаранного сустава.

Как можно увидеть из рисунка 7.16, при нулевой дивергенции (рисунок 7.16А) или удовлетворительной пассивной инверзии (рисунок 7.16Б) винт в таранной кости можно расположить вертикально или параллельно латеральному краю таранной кости. При избыточном наклоне винта в таранной кости, снижается коррекция деформации (рисунок 7.16В). Также при таком варианте введения винта его шляпка может контактировать с латеральным краем переднего отростка пяточной кости, что может привести к развитию болевого синдрома и перонеального спазма (рисунок 7.17).

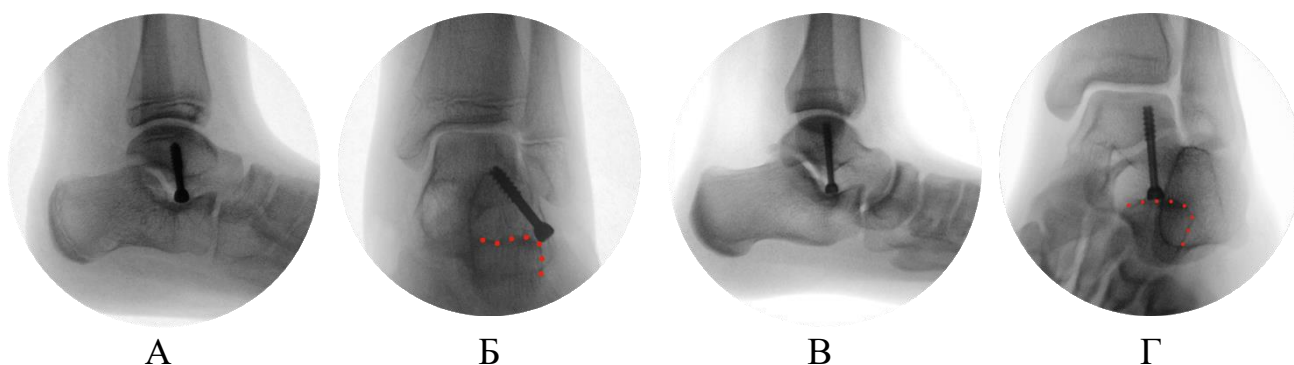


Рисунок 7.17. Клинические примеры, отражающие разные варианты расположения стопорного винта по отношению к переднему отростку пяточной кости. А, В – боковая проекция; Б, Г – передне-задняя проекция. Красной пунктирной линией отмечены контуры переднего отростка пяточной кости.

На рисунке 7.17 показано, что при сопоставимой величине коррекции деформации стопы и расположению стопорных винтов на боковых рентгенограммах (рисунок 7.17А,В) имеются существенные различия по расположению винтов на передне-задних рентгенограммах. На рисунке 7.17Б отмечается латеральное смещение шляпки винта по отношению к переднему отростку пяточной кости, что, в свою очередь, при осевой нагрузке приводит к соскальзыванию шляпки винта на латеральную поверхность переднего отростка пяточной кости. Данная особенность расположения винта чаще всего приводила к развитию болевого синдрома и перонеального спазма (16 из 18 пациентов с подобным расположением винта предъявляли жалобы на боли в области тарзального синуса, у всех пациентов с таким расположением винта развивался перонеальный спазм). На рисунке 7.17Г приведен пример корректного расположения винта по отношению к переднему отростку пяточной кости – упор шляпки винта осуществляется непосредственно на верхнюю часть переднего отростка пяточной кости. При анализе причин нарушения расположения винта по отношению к переднему отростку пяточной кости было выявлено, что подобные особенности имплантации металлоконструкции имели место у пациентов с ограничением мобильности подтаранного сустава (инверзии).

Исходя из оценки мобильности суставов предплюсны, при возможности выведения подтаранного сустава в положение максимальной инверзии (нулевой дивергенции) возможно пропальпировать латеральный край блока таранной кости или головку таранной кости в одной плоскости с передним отростком пяточной кости, поскольку передний отросток пяточной кости занимает положение непосредственно под головкой таранной кости (рисунок 7.18).



А

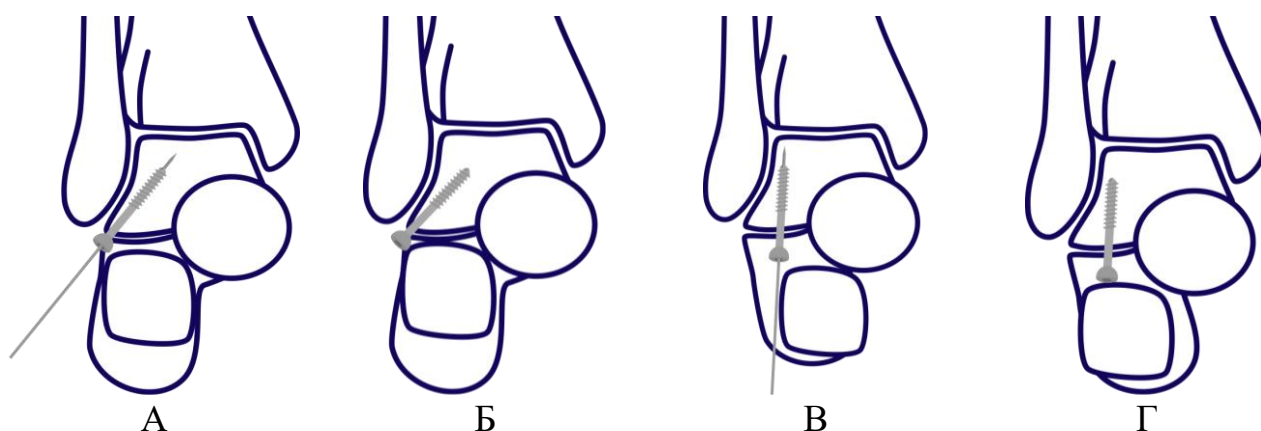


Б

Рисунок 7.18. Клиническая картина при возможности выведения подтаранного сустава в положение максимальной инверзии (нулевая дивергенция). А – вид спереди; Б – вид сбоку.

Как видно на рисунке 7.18А, при достижении нулевой дивергенции передний отросток пяточной кости располагается на одной линии с латеральным краем блока таранной кости или головки таранной кости (красная линия). При максимальной инверзии подтаранного сустава тарзальный синус имеет максимальный размер (круг красного цвета), а передний отросток пяточной кости не выходит за латеральную границу таранной кости - пунктирные линии желтого цвета (рисунок 7.18Б).

Схема нарушения расположения стопорного винта по отношению к переднему отростку пяточной кости вследствие ограничения пассивной инверзии стопы приведена на рисунке 7.19.



А

Б

В

Г

Рисунок 7.19. Схема установки и расположения стопорного винта в таранную кость при ограничении пассивной инверзии стопы (А, Б) и при нормальной пассивной инверзии стопы (В, Г).

Как видно из рисунка 7.19, при проведении спицы в таранную кость угол наклона спицы во фронтальной плоскости определяется положением переднего отростка пяточной кости. Чем меньше пассивная инверзия стопы, тем более горизонтальное положение занимает направляющая спица и стопорный винт, поскольку передний отросток пяточной кости не позволяет ввести спицу более вертикально (рисунок 7.19А). В таком случае при ходьбе и увеличении эверзии на уровне подтаранного сустава, передний отросток пяточной кости смещается латерально и упор винта может осуществляться не на верхнюю, а на латеральную часть переднего отростка пяточной кости (рисунок 7.19Б). При нормальной величине пассивной инверзии стопы, передний отросток пяточной кости занимает положение под головкой таранной кости, что, в свою очередь, позволяет вертикально расположить направляющую спицу (рисунок 7.19В). При ходьбе и увеличении эверзии на уровне подтаранного сустава, упор винта осуществляется на верхнюю часть переднего отростка пяточной кости (рисунок 7.19Г).

Для оценки влияния наклонного положения винта в передне-задней проекции (mortise), было проведено сравнительное исследование. Пациенты с винтами в таранной кости были разделены на две группы: вертикальное положение - угол наклона винта в проекции mortise голеностопного сустава 70° и более; и наклонное положение – угол наклона винта менее 70° (рисунок 5.39, глава 5). Данные особенностей клинической картины в зависимости от положения винта приведены в таблице 7.9.

Таблица 7.9 – Клинические особенности патологии стопы у пациентов с разным положением винта в таранной кости во фронтальной плоскости (n=63)

Клинические симптомы	Вертикальное положение винта, n=34	Наклонное положение винта, n=29	p
Боль в области тарзального синуса	5/ 16,66%	9/ 31,03%	0,03
Перонеальный спазм	2/ 5,88%	13/ 44,83%	0,01
Ограничение пассивной инверзии	4/ 11,76%	18/ 62,07%	0,00
*однофакторный дисперсионный анализ Kruskal-Wallis			

Как видно из таблицы 7.9, при наклонном положении винта во фронтальной плоскости значительно увеличивается риск развития болевого синдрома, перонеального спазма и ограничения пассивной инверзии стопы, связанных с болевым синдромом и напряжением малоберцовых мышц.

Таким образом, при возможности выведения подтаранного сустава в положение максимальной инверзии (нулевой дивергенции), оптимальным вариантом коррекции будет использование артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость. Этот метод стабилизации имеет максимальный потенциал коррекции. Помимо малой травматичности данного метода, он позволяет регулировать величину коррекции. С одной стороны, это позволяет стабилизировать подтаранный сустав, с другой стороны – снизить потенциальную вероятность развития дегенеративных изменений в голеностопном суставе. Кроме того, анализ возраста выполнения артроэреза подтаранного сустава показал удовлетворительный потенциал коррекции во всех возрастных группах.

При ограничении мобильности подтаранного сустава корректная установка винта в таранную кость при артроэрезе подтаранного сустава невозможна. В таких случаях коррекция деформации стопы выполняется при помощи удлиняющей остеотомии пяточной кости. Учитывая особенности плотности пяточной кости у детей раннего возраста, остеотомии пяточной кости можно выполнять не ранее 12 лет. Выбор между остеотомией пяточной кости по Evans и Hintermann осуществляется, исходя из мобильности сустава Шопара и подтаранного сустава. Поскольку остеотомия пяточной кости по Hintermann корригирует эверзионное положение подтаранного сустава, для выполнения этого типа остеотомии требуется мобильность подтаранного сустава. Условия для выполнения удлиняющей остеотомии пяточной кости по Hintermann и артроэреза подтаранного сустава одинаковые – удовлетворительная мобильность подтаранного сустава. В связи с тем, что выполнение артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость является менее травматичным вмешательством, при наличии достаточной пассивной инверзии подтаранного сустава (нулевой дивергенции) показано выполнение артроэреза. При наличии мобильности подтаранного сустава,

позволяющей достичь нейтрального положения в подтаранном суставе (30% таранно-пяточного соотношения), но величине пассивной инверзии, не позволяющей корректно установить винт в таранную кость, показано выполнение остеотомии по Hintermann.

При ограничении мобильности подтаранного сустава выполнение остеотомии по Hintermann нецелесообразно, поскольку это не позволит устранить избыточный вальгус заднего отдела стопы (рисунок 7.20).



Рисунок 7.20. Величина коррекции вальгуса заднего отдела стопы после выполнения остеотомии пяточной кости по Hintermann при ригидном подтаранном суставе. А – до выполнения дистракции на уровне остеотомии; Б – после выполнения дистракции.

Как можно увидеть на рисунке 7.20, после выполнения остеотомии пяточной кости по Hintermann отмечается сохранение избыточного вальгуса заднего отдела стопы наряду с изменением положения переднего отдела стопы. В подобных ситуациях требуется выполнение медиализирующей остеотомии пяточной кости. Таким образом, потенциал коррекции деформации при остеотомии пяточной кости по Hintermann обусловлен мобильностью сустава Шопара и подтаранного сустава. В связи с этим, при ограничении мобильности подтаранного сустава целесообразно выполнять технически более простую удлиняющую остеотомию пяточной кости – остеотомию по Evans, дополняя ее медиализирующей остеотомией бугра пяточной кости при необходимости.

При выполнении остеотомии пяточной кости по Evans подтаранный сустав занимает крайнее положение эверсии. Ограничение мобильности подтаранного сустава обуславливает отсутствие увеличения вальгуса заднего отдела стопы. В связи с этим, потенциал коррекции при остеотомии по Evans обусловлен мобильностью сустава Шопара. При удовлетворительной пассивной инверсии стопы, но ограничении мобильности подтаранного сустава (положительный тест «оценки изолированной мобильности подтаранного сустава»), коррекция деформации стопы может быть осуществлена посредством остеотомии пяточной кости по Evans или двойной остеотомии – Evans + Koutsogiannis (рисунок 7.21).



Рисунок 7.21. Клинический пример удовлетворительной пассивной инверсии стопы при ограничении мобильности подтаранного сустава.

На рисунке 7.21 видно, что удовлетворительная пассивная инверсия стопы сопровождается дефигурацией в области переднего отростка пяточной кости (отмечено красным цветом). Наряду с положительным тестом оценки изолированной мобильности подтаранного сустава и возможностью пропальпировать головку таранной кости при инверсии стопы, это свидетельствует об удовлетворительной мобильности сустава Шопара и ограничении мобильности подтаранного сустава, что обуславливает выбор удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans для коррекции деформации стопы. При исходном вальгусе заднего отдела стопы более 15° или увеличении вальгуса после выполнения остеотомии по Evans дополнительно выполняется остеотомия пяточной кости по Koutsogiannis (рисунок 7.22).



Рисунок 7.22. Двойная остеотомия пяточной кости (Evans + Koutsogiannis).

На рисунке 7.22 удлиняющая остеотомия пяточной кости дополняется медиализирующей остеотомией бугра пяточной кости для коррекции положения как переднего, так и заднего отдела стопы.

При дегенеративных изменениях суставов предплюсны (стадия III по классификации J.H. Kellgren и J.S. Lawrence) у детей старше 12 лет показано выполнение артродезирующих вмешательств. При этом, сохранение мобильности подтаранного сустава после выполнения артродезирующих вмешательств на уровне сустава Шопара позволяет сохранить периталлярное движение и снижает нагрузку с передних отделов голеностопного сустава.

У пациентов с анатомически ригидным плоскостопием первым этапом выполняются вмешательства, направленные на увеличение мобильности суставов предплюсны (резекция коалиций, латерального отростка таранной кости). После устранения причины анатомической ригидности производится оценка мобильности суставов предплюсны и на ее основании принимается решение в отношении выбора метода стабилизации.

Определение необходимости удлинения трехглавой мышцы голени и выбор метода удлинения производится после выполнения стабилизации суставов предплюсны. Как показали результаты исследования, удлинение трехглавой мышцы голени на проксимальном уровне имеет меньший потенциал коррекции (около 15°), но в отдаленной перспективе характеризуется меньшей вероятностью повторной ретракции. Необходимая величина тыльного сгибания стопы составляет около 15° . Если после стабилизации суставов предплюсны величина тыльного сгибания составляет около 0° , выполняется удлинение трехглавой мышцы голени.

Если после стабилизации суставов предплюсны стопа пассивно не выводится из положения подошвенного сгибания, выполняется ахиллопластика.

7.4 Алгоритм хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием

Хирургическое лечение пациентов с ригидным плоскостопием состоит из двух этапов. Первый этап – увеличение мобильности суставов предплюсны у пациентов с анатомически ригидным плоскостопием. Второй этап – стабилизация суставов предплюсны. Алгоритм выбора способа хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием приведен на рисунке 7.23.

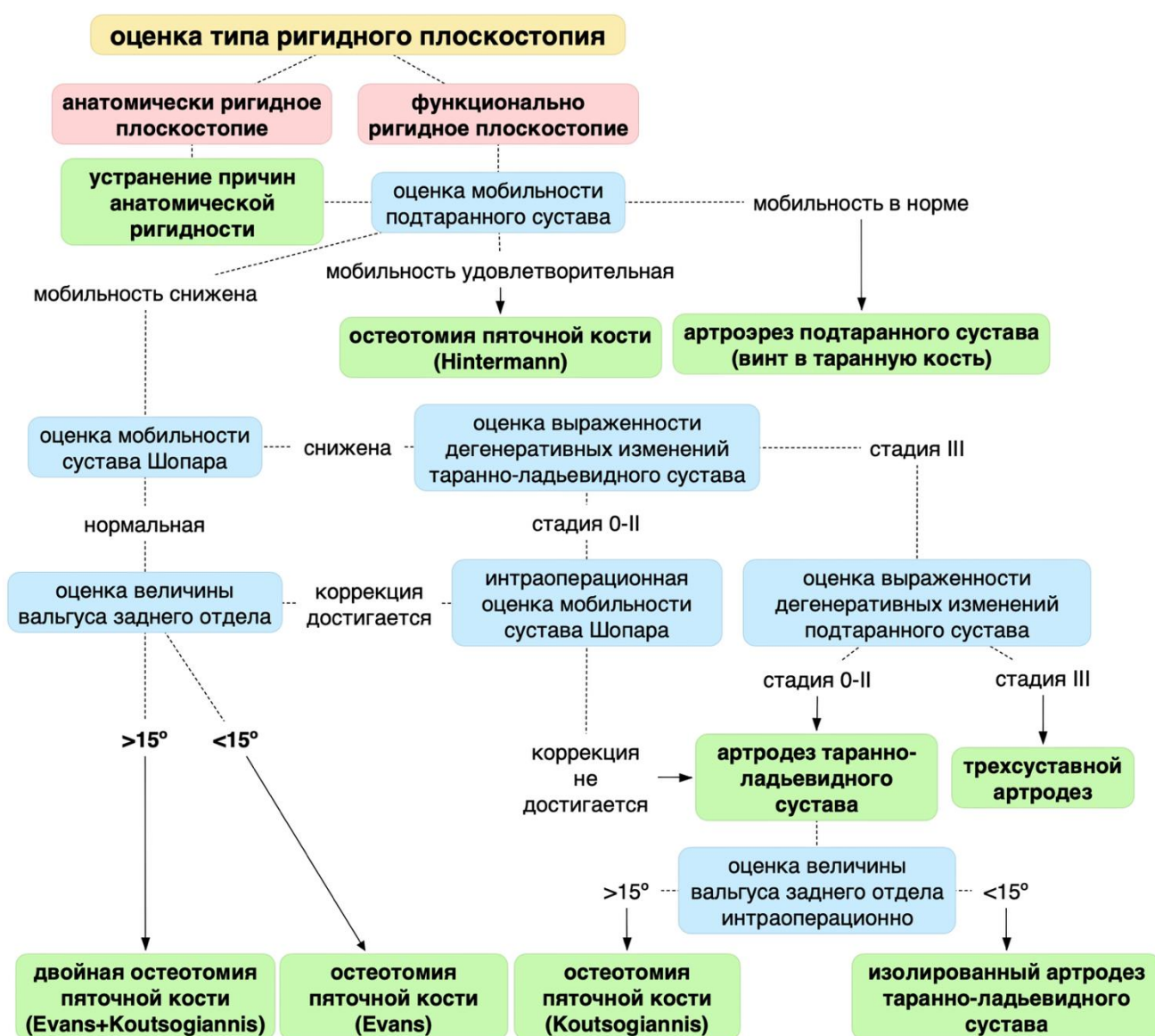


Рисунок 7.23. Алгоритм хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием.

Как можно увидеть на рисунке 7.23, в случае анатомически ригидного плоскостопия первым этапом производится устранение причин данной патологии. С этой целью выполняются вмешательства по поводу аномалий развития костей предплюсны (тарзальные коалиции, добавочная фасетка подтаранного сустава).

Дальнейшая тактика зависит от мобильности подтаранного сустава. При нормальной мобильности подтаранного сустава (тест «мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава»), выполняется артрорез подтаранного сустава винтом в таранную кость, поскольку из всех видов артролиза этот метод имеет большой потенциал коррекции и возможность регулировать степень коррекции. Если мобильность подтаранного сустава удовлетворительная, то есть корректная установка винта в таранную кость невозможна, показана остеотомия пяточной кости по Hintermann. Удовлетворительная мобильность подтаранного сустава означает, что клинически можно определить мобильность (тесты «оценка изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы», «тест оценки трансляции пяточной кости», оценка пассивной инверзии/эверзии стопы), но положение максимальной инверзии (нулевой дивергенции) не достигается (тест «мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава»). При сниженной мобильности подтаранного сустава (клинически мобильность не определяется) определяется оценка движений в суставе Шопара (оценка пассивной инверзии и эверзии). Нередко при нарушении мобильности подтаранного сустава возникает компенсаторная гипермобильность сустава Шопара – в таких случаях пассивная инверзия и эверзия стопы может быть удовлетворительная. Если мобильность сустава Шопара удовлетворительная (оценка пассивной инверзии и эверзии стопы), выполняется удлиняющая остеотомия пяточной кости по Evans. В случае избыточного вальгуса заднего отдела стопы (более 15°), выполняется двойная остеотомия пяточной кости. При сниженной мобильности сустава Шопара производится оценка дегенеративных изменений суставов предплюсны по J.H. Kellgren и J.S. Lawrence. При начальных стадиях дегенеративных изменений (0 – II стадия), выполняется интраоперационная оценка мобильности сустава Шопара (возможность коррекции

положения ладьевидной кости в нейтральное положение или положение гиперкоррекции на рентгенограммах с инверзией стопы). При выведении ладьевидной кости в положение коррекции, выполняется или операция Evans, или двойная остеотомия пяточной кости в зависимости от исходной величины вальгуса заднего отдела. При невозможности достижения нейтрального положения в таранно-ладьевидном суставе, выполняется изолированный артродез таранно-ладьевидного сустава или в комбинации с медиализирующей остеотомией бугра пяточной кости в зависимости от величины резидуального вальгуса заднего отдела стопы.

При выраженных дегенеративных изменениях суставов предплюсны (III стадия) выполняется трехсуставной артродез. Необходимость удлинения трехглавой мышцы голени определяется после стабилизации суставов предплюсны. В случае тыльного сгибания стопы после стабилизации суставов предплюсны около 0° показано удлинение трехглавой мышцы голени на проксимальном уровне (рецессия медиальной головки икроножной мышцы). При невозможности коррекции положения подошвенного сгибания стопы — выполняется ахиллопластика.

Заключение

Плоскостопие у детей является самой частой проблемой, с которой обращаются к врачу-ортопеду. Изменение формы стопы по мере роста ребенка свидетельствует о том, что уплощение свода стопы является отражением нормального развития опорно-двигательного аппарата. Так, большинство детей с плоскостопием не предъявляют жалоб и не имеют функциональных ограничений. С другой стороны, также встречаются и пациенты детского возраста, у которых плоскостопие является симптоматическим, это говорит о том, что среди всего плоскостопия детского возраста можно выделить физиологические и патологические формы. Вместе с тем, критерии плоскостопия являются размытыми, а системы классификации не позволяют оценить наличие и степень функциональных нарушений. Наиболее часто используемая в клинической практике классификация плоскостопия, разделяющая его на ригидные и мобильные формы, определяет ригидные формы, при которых нарушена мобильность суставов предплюсны как патологические, а мобильные формы, в большинстве своем как физиологические. Однако, определенная часть детей с мобильным плоскостопием имеет функциональные нарушения и предъявляет жалобы на боли в стопах. Хирургическое лечение детей с плоскостопием характеризуется использованием двух основных видов вмешательств – артроэреза подтаранного сустава и остеотомий пяточной кости. Показания и условия выполнения каждого вида хирургического вмешательства схожи и часто зависят от личных предпочтений хирурга. Анализ данных литературы и выявление указанных проблем послужили поводом для проведения настоящего исследования.

Целью исследования была разработка системы дифференцированного хирургического лечения детей с ригидными формами плоскостопия на основании анализа анатомо-функциональных и патогенетических особенностей, а также оценки результатов лечения, ошибок и осложнений.

Для реализации цели исследования было поставлено 6 задач, решение которых далее представлено в тексте заключения.

Задача 1 заключалась в изучении анатомических особенностей и определении частотных характеристик разных клинических проявлений плоскостопия у детей. Одной из проблем клинической диагностики плоскостопия является сложность оценки формы стопы, поскольку для этого используются различные критерии. Чаще всего для установления диагноза плоскостопия используются клинические показатели, характеризующие как степень уплощения стопы, так и величину вальгусного отклонения заднего отдела стопы. Для решения этой задачи было проведено кросс-секционное исследование школьников ($N=220$), которое заключалось в оценке основных клинических параметров стоп и определении частоты встречаемости каждого из параметров. Также было проведено обследование детей с плоскостопием, находящихся на амбулаторном наблюдении и стационарном лечении, которое включало детей с мобильным плоскостопием ($N=139$), тарзальными коалициями ($N=158$), а также детей с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени ($N=198$). Пациентам была проведена оценка клинических параметров, характеризующих плоскостопие (угол Dahle $<130^\circ$; индекс Фридланда <27), а также величину вальгуса заднего отдела стопы (более 15°). Пороговые значения исследуемых параметров, характеризующие плоскостопие, были взяты из данных литературы. На основании проведенного исследования выявлено, что сочетание всех трех критериев встречалось лишь в 10,6% случаев. Это свидетельствует о том, что стандартные пороговые значения клинических параметров плоскостопия не являются стандартизированными и не находятся в тесной связи друг с другом. Наиболее часто плоскостопие у детей характеризовалось уплощением свода стопы (угол Dahle $<130^\circ$ отмечен в 28,1% случаев, индекс Фридланда <27 – в 13,9% случаев), изолированное увеличение вальгуса заднего отдела стопы было отмечено лишь в 2% случаев. Сочетание избыточного вальгуса заднего отдела стопы с уплощением свода стопы встречалось следующим образом: угол Dahle $<130^\circ$ и вальгус $>15^\circ$ – 5%, а индекс Фридланда <27 в сочетании с вальгусом заднего отдела $>15^\circ$ – 26,5%. Другими словами, исходя из полученных данных сочетания клинических признаков плоскостопия, снижение высоты свода стопы не всегда сопровождается

увеличением вальгуса заднего отдела стопы. С другой стороны, избыточный вальгус заднего отдела стопы в изолированном виде встречается редко и сопровождается снижением высоты свода стопы. В результате проведенного исследования определено, что оценка величины деформации стопы затруднительна ввиду отсутствия унифицированных критериев диагностики и различными вариантами сочетаний разных параметров, а разделение плоскостопия на основании выраженности деформации стопы не позволяет выделить физиологические и патологические формы.

Вторая задача заключалась в определении критериев оценки функционального статуса стоп у детей с плоскостопием, характеризующих наличие локомоторных нарушений. Ранее было установлено, что выделение патологических и физиологических форм плоскостопия, основанное на оценке величины деформации стопы затруднительно ввиду естественного развития и изменения формы стопы по мере роста ребенка, а также отсутствия четких клинических параметров, определяющих плоскостопие. Для решения второй задачи был проведен анализ известных тестов мобильности стопы у пациентов с мобильным плоскостопием ($n=139$), тарзальными коалициями ($n=157$) и пациентов с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени ($n=202$): тест «вставания на цыпочки», тест Jack, оценка пассивной инверзии и эверзии стопы. Для улучшения клинической оценки мобильности стоп разработаны новые клинические тесты - способы оценки мобильности: способ оценки мобильности заднего отдела стопы при плоскостопии у детей, способ определения показаний к рентгенологическому исследованию при диагностике пяточно-ладьевидных коалиций, способ определения укорочения ахиллова сухожилия при продольном плоскостопии, определение трансляции пяточной кости, оценка изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы, мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава. У всех разработанных тестов проводилась оценка диагностической значимости (чувствительность и специфичность), а также согласованность между разными экзаменаторами (каппа Коэна). На основании проведенного анализа тестов мобильности стопы, а также

оценки биомеханических параметров (положение стопы в разных фазах шага, сила трехглавой мышцы голени, ультрасонографические и электрофизиологические параметры) было выявлено, что основным критерием функциональности стопы при плоскостопии является возможность осуществления блокирования суставов предплюсны при осуществлении пропульсии. При оценке движений стопы при ходьбе это проявлялось в сохранении вальгусного положения заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага. Определение истинного тыльного сгибания стопы при помощи нового разработанного теста (тыльное сгибание стопы с пассивным разгибанием I пальца) выявлено, что увеличение тыльного сгибания стопы с разгибанием I пальца на 1 градус снижает риск развития коллапса стопы на 23%. При сопоставлении результатов нового теста «вставании на цыпочки на одной ноге», моделирующего положение стопы в одноопорной фазе шага, было отмечено, что результаты нового теста значимо коррелируют с нарушениями, выявленными при биомеханических исследованиях. Положительный результат теста «вставания на цыпочки на одной ноге» повышает риск вальгусного положения заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага в 12 раз. Полученные данные позволяют использовать тест «вставания на цыпочки на одной ноге» как важный критерий оценки функционального статуса стопы.

Задача 3 заключалась в совершенствовании классификации плоскостопия у детей с учетом особенностей анатомо-функциональных параметров стоп и позволяющей обосновать необходимость хирургического лечения. Полученные данные оценки мобильности стоп у детей с плоскостопием, анализ анатомо-функциональных параметров, включающих клинические данные, результаты биомеханических исследований, ультрасонографические и электрофизиологические показатели легли в основу проведения кластерного анализа. При проведении кластерного анализа клинических параметров было выявлено, что группа пациентов с мобильным плоскостопием неоднородна. При анализе графиков Gap-статистики и Inertia (метод «локтя»), было определено оптимальное разделение этих пациентов на 2 кластера, что позволило объяснить 77,6% дисперсии. Дальнейшие исследования подтвердили значимые различия по

ультрасонографическим, рентгенологическим и электрофизиологическим параметрам между кластером 1 и кластером 2 в группе пациентов с мобильным плоскостопием. При этом, наряду с существенными различиями клинических параметров, отмечались значимые различия по результатам биомеханической оценки – у пациентов кластера 1 и кластера 2 было разное положение заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага. На основании полученных данных сформирована классификация плоскостопия с учетом наличия функциональных нарушений. Новая классификация позволила разделить пациентов с плоскостопием на основании наличия и отсутствия функциональных нарушений. Исходя из новой классификации, плоскостопие разделялось на три формы: мобильное плоскостопие, анатомически ригидное плоскостопие и функционально ригидное плоскостопие. Мобильное плоскостопие характеризуется нормальной мобильностью стопы и возможностью блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага для эффективного осуществления пропульсии, что характеризуется варусным положением заднего отдела стопы перед осуществлением отталкивания в одноопорную фазу шага. Анатомически ригидное плоскостопие характеризуется наличием анатомических причин ограничения мобильности суставов предплюсны (тарзальные коалиции, аномалии развития фасеток подтаранного сустава). Функционально ригидное плоскостопие – это форма плоскостопия, для которой характерна нормальная анатомия и мобильность суставов предплюсны, но отсутствует блокирование суставов предплюсны при осуществлении пропульсии, что проявляется сохранением вальгусного положения заднего отдела стопы во второй половине одноопорной фазы шага. Исходя из полученных данных, хирургическое лечение требуется пациентам с плоскостопием, у которых имеются функциональные нарушения (анатомически ригидное и функционально ригидное плоскостопие). Проведенный анализ выявил, что большая часть пациентов с функционально ригидным плоскостопием имела ретракцию трехглавой мышцы голени, однако, 28,3% пациентов с функционально ригидным плоскостопием не имели ограничения тыльного сгибания, что

свидетельствует о том, что определенная часть пациентов с нормальной мобильностью суставов предплюсны имеют нарушение функции стопы.

Задача 4 заключалась в разработке способов выполнения резекционных вмешательств у детей с тарзальными коалициями, позволяющих снизить частоту неудовлетворительных результатов. Для решения четвертой задачи исследования были разработаны новые способы резекций тарзальных коалиций. Был разработан способ определения уровня сечения пяточной кости при резекции пяточно-ладьевидной коалиции, при использовании которого значительно снижается вероятность повреждения sustentaculum tali. Также был разработан способ резекции пяточно-ладьевидных коалиций, позволяющий увеличить расстояние между резецированными костями в плантарной части коалиции и снизить вероятность повреждения головки таранной кости. Для снижения вероятности неполной резекции таранно-пяточных коалиций была определена последовательность действий при выполнении резекции, которая заключалась в определении направления резекции согласно плоскости расположения задней фасетки подтаранного сустава. Предложенные способы резекции пяточно-ладьевидных коалиций позволяют точно определить уровень остеотомии пяточной кости, а также сохранить достаточное расстояние между резецированными костями в плантарной части коалиции. Алгоритм выполнения резекции таранно-пяточных коалиций заключается в использовании суставной поверхности задней фасетки подтаранного сустава как ориентира направления и полноты выполнения резекции. На основании анализа результатов имеющихся способов резекции тарзальных коалиций, а также новых предложенных способов было определено, что выполнение резекции пяточно-ладьевидных коалиций с использованием предложенных способов позволяет снизить частоту повреждения костей предплюсны в 6,5 раз, а частоту неполной резекции таранно-пяточных коалиций в 6 раз.

Задача 5 состояла в анализе неудовлетворительных результатов лечения, ошибок и осложнений при хирургическом лечении детей с ригидным плоскостопием и определении способов их профилактики. Для оценки результатов лечения и профилактики ошибок и осложнений были проанализированы

отдаленные результаты хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием разными способами. Было выявлено, что избыточная коррекция деформации стопы, с увеличением таранно-большеберцового угла более 70° может способствовать развитию переднего импиджмента голеностопного сустава. Путем математического анализа регрессионной модели между величинами таранно-большеберцового угла и таранно-пяточного соотношения выявлено, что таранно-пяточное соотношение при определении величины коррекции деформации стопы при помощи артроэреза подтаранного сустава должно быть около 30%. Также было определено, что ориентирование блокирующего винта в таранную кость на центр блока таранной кости в сагиттальной плоскости и вертикальное расположение винта во фронтальной плоскости характеризуется максимальным потенциалом коррекции деформации и низким риском развития перимплантного лизиса и миграции металлоконструкции. Выбор точки введения блокирующего винта в таранную кость близко к апексу латерального отростка таранной кости позволяет снизить вероятность перелома металлоконструкции. При оценке результатов лечения детей с ригидным плоскостопием с использованием операции Evans было выявлено, что максимальным потенциалом коррекции обладает остеотомия пяточной кости спереди от sustentaculum tali. Для определения уровня остеотомии пяточной кости был разработан способ, заключающийся в визуализации контуров sustentaculum tali на передне-задних рентгенограммах стопы с максимальным подошвенным сгибанием, выполняющихся интраоперационно.

Задача 6 заключалась в обосновании дифференцированного выбора метода хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием. Для решения этой задачи был проведен анализ результатов лечения детей с ригидным плоскостопием при помощи артроэреза подтаранного сустава и остеотомий пяточной кости. Было выявлено, что из разных методик артроэреза подтаранного сустава оптимальным сочетанием высокого потенциала коррекции и возможности регулировки величины коррекции деформации обладает артрорез подтаранного сустава блокирующим винтом в таранную кость. Основным условием для выполнения данной операции является достаточная мобильность подтаранного сустава, которая определяется при

помощи разработанного теста (возможность выведения подтаранного сустава в положение «нулевой дивергенции»). На основании проведенного анализа результатов лечения детей с ригидным плоскостопием путем выполнения остеотомий пяточной кости выявлено, что операция Evans приводит к увеличению эверсии подтаранного сустава и чаще всего требует дополнения медиализирующей остеотомией бугра пяточной кости. Операций Hintermann, в отличие от операции Evans, позволяет корректировать эверсию подтаранного сустава. Таким образом, потенциал коррекции деформации стопы при выполнении операции Evans обусловлен мобильностью сустава Шопара, а потенциал коррекции при выполнении операции Hintermann связан как с мобильностью сустава Шопара, так и подтаранного сустава. На основании проведенных исследований выявлено, что артрорезирующие вмешательства на уровне сустава Шопара при корректном сопоставлении позволяют сохранить часть движений в подтаранном суставе, что, в свою очередь снижает вероятность развития дегенеративных изменений в голеностопном суставе. На основании полученных данных составлен алгоритм выбора метода хирургической коррекции деформации стопы при ригидном плоскостопии, основанный на детальной оценке мобильности подтаранного сустава и сустава Шопара, а также оценке выраженности дегенеративных изменений суставов предплюсны.

Таким образом, в ходе выполнения диссертационного исследования удалось решить все шесть поставленных задач и реализовать цель исследования. Итоги проведенного исследования представлены далее в выводах и практических рекомендациях.

Выводы

1. Результаты изучения анатомических особенностей стоп у детей и анализа частотных характеристик плоскостопия в детском возрасте показали, что изолированные клинические проявления плоскостопия характеризовали только уплощение свода стопы: угол Dahle $<130^\circ$ был отмечен в 28,1% случаев, индекс Фридланда <27 – в 13,9% случаев, а вальгус заднего отдела стопы $>15^\circ$ только в 2% случаев. Сочетание клинических проявлений плоскостопия было различным: индекс Фридланда <27 в сочетании с вальгусом заднего отдела $>15^\circ$ – 26,5% случаев, угол Dahle $<130^\circ$ с индексом Фридланда <27 – 12,3% случаев, угол Dahle $<130^\circ$ с вальгусом $>15^\circ$ – 5%. Наличие всех исследуемых критериев плоскостопия было отмечено лишь в 10,6% случаев, что свидетельствует об отсутствии унифицированных клинических критериев, характеризующих анатомические особенности стоп в детском возрасте.
2. На основании разработанных клинических тестов и анализа результатов их использования определено, что функциональность стопы при плоскостопии характеризуется возможностью осуществления блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага. Клиническая оценка функционального статуса стопы заключается в определении изменения положения заднего отдела стопы при вставании на цыпочки на одной ноге, что моделирует движение стопы при осуществлении пропульсии, при этом варусное положение заднего отдела стопы свидетельствует о возможности блокирования суставов предплюсны.
3. В результате анализа показателей известных тестов оценки мобильности стопы и создания новых тестов, а также на основании проведенного кластерного анализа анатомо-функциональных критериев стоп методом k-средних и определения разделения клинических параметров мобильного плоскостопия на 2 кластера, усовершенствована классификация плоскостопия, позволяющая обосновать проведение хирургического лечения у пациентов с нарушением функции стопы, включающая 3 вида: мобильное, функционально ригидное и анатомически ригидное плоскостопие. Анатомически ригидное плоскостопие характеризуется структурными нарушениями, обуславливающими ограничение

мобильности суставов предплюсны, при функционально ригидном плоскостопии отсутствуют анатомические изменения, однако имеется нарушение пропульсивной функции стопы в связи с отсутствием блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага.

4. На основании разработки новых способов резекционных вмешательств у детей с плоскостопием, ассоциированным с тарзальными коалициями, снижена вероятность повреждения костей предплюсны при резекции пяточно-ладьевидных коалиций в 6,5 раз, а также снижена вероятность неполной резекции таранно-пяточных коалиций в 5,9 раза (модель Лог-линейной регрессии; $R^2_{McF} > 0,9$; $p < 0,05$).

5. Анализ отдаленных результатов лечения, ошибок и осложнений показал, что избыточная коррекция деформации стопы с увеличением таранно-большеберцового угла более 70° и уменьшением таранно-пяточного соотношения менее 30% может приводить к развитию переднего импинджмента голеностопного сустава (регрессионная модель, $r = -0,48$; $p < 0,05$); методом стабилизации суставов предплюсны с эффективным механизмом регулирования величины коррекции является артроэрез подтаранного сустава винтом в таранную кость. При выполнении удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans или Hintermann, потенциал коррекции зависит от точности сечения пяточной кости по отношению к медиальной фасетке подтаранного сустава.

6. Разработанный алгоритм выбора тактики хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием состоит из двух этапов. Первый этап – устранение причин анатомической ригидности для увеличения мобильности суставов предплюсны. Второй этап – стабилизация суставов предплюсны, на котором осуществляется выбор между артроэрезом подтаранного сустава, разными вариантами удлиняющей остеотомии пяточной кости, а также артродезирующими вмешательствами на основании детальной оценки мобильности подтаранного сустава и сустава Шопара при использовании новых разработанных тестов, а также оценки резидуальной деформации стопы после выполнения стабилизации суставов предплюсны.

Практические рекомендации

1. Оценка функционального статуса стопы проводится на основании анализа тестов «вставания на цыпочки» и «вставания на цыпочки на одной ноге». При этом, отрицательный результат теста «вставания на цыпочки», заключающийся в изменении положения заднего отдела стопы с вальгусного на варусное и положительный результат теста «вставания на цыпочки на одной ноге», заключающийся в сохранении вальгусного положения заднего отдела стопы свидетельствует о функциональной ригидности стопы.
2. Для оценки истинного тыльного сгибания стопы при плоскостопии необходима стабилизация суставов предплюсны, которая достигается путем пассивного разгибания I пальца стопы.
3. При резекции пяточно-ладьевидных коалиций необходимо выполнять сечение пяточной кости спереди от sustentaculum tali и не допускать сужения плоскостей резекции плантарной части коалиции, а при резекции таранно-пяточных для определения полноты резекции коалиции требуется визуализация гиалинового хряща задней фасетки подтаранного сустава.
4. При выполнении артроэреза подтаранного сустава винтом в таранную кость, винт необходимо располагать вертикально во фронтальной плоскости, точку входа винта необходимо выбирать близко к апексу латерального отростка таранной кости, а винт ориентировать на центр блока таранной кости в сагиттальной плоскости.
5. Выполнение удлиняющей остеотомии пяточной кости по Evans должно осуществляться кпереди от sustentaculum tali. Визуализация переднего края sustentaculum tali осуществляется интраоперационно при выполнении передне-задней рентгенографии с максимальным подошвенным сгибанием.
6. Коррекция плано-вальгусной деформации стопы должна быть дозированной (таранно-большеберцовый угол менее 70° , таранно-пяточное соотношение не менее 30%) во избежание явлений переднего импиджмента голеностопного сустава и развития дегенеративных изменений в переднем отделе голеностопного сустава.

Список сокращений

ПВДС – плано-вальгусная деформация стопы;

КТ – компьютерная томография;

КТ MPR – мультипланарная реконструкция на КТ;

MPT – магнитно-резонансная томография;

УЗИ – ультразвуковое исследование;

ОхAFQ-C – Оксфордский опросник состояния стопы и голеностопного сустава для детей;

ЭМГ – электромиография;

FPI – индекс положения стопы (Foot Posture Index);

DSCF тест – тест Dwass–Steel–Critchlow–Fligner;

ДИ – доверительный интервал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов, В. С. Метод корригирующего латерального артрориза подтаранного сустава винтом в лечении детей с плоскостопием / Аносов В.С., Михович М.С., Сычевский Л.З., Кошман Г.А. // Медицинские новости. – 2011. – № 1. – С. 76–80
2. Беленький, И. Г. Современные взгляды на хирургическое лечение hallux valgus / Беленький И.Г., Сергеев Г.Д., Олейник А.В., Майоров Б.А. // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 6. – С. 7.
3. Бландинский, В. Ф. Метод Доббса в лечении детей с тяжелыми врождёнными плоско-вальгусными деформациями стоп / В. Ф. Бландинский, М. А. Вавилов, И. В. Громов // Травматология и ортопедия России. – 2012. – № 3 (65). – С. 89–94.
4. Борзунов, А. В. Распространенность плоскостопия у детей и взаимосвязь плоскостопия и гипермобильного синдрома / А. В. Борзунов // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2015. – № 2 (21). – С. 106
5. Буравцов, П. П. Оперативное лечение эквинусной деформации стоп у пациентов со спастической формой детского церебрального паралича / П. П. Буравцов, А. С. Неретин // Гений ортопедии. – 2006. – № 3. – С. 52–53
6. Вавилов, М. А. Отдаленные результаты лечения детей с врожденной вертикальной таранной костью / М. А. Вавилов, В. Ф. Бландинский, И. В. Громов [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. - № 3 – С. 330–336.
7. Васильев, О. С. Методы диагностики плоскостопия у детей. Систематический обзор / О. С. Васильев, И. А. Степаник, С. П. Левушкин [и др.] // Медицинские новости. – 2021. – № 4 (68). – С. 71–97.
8. Витько, Н. К. Магнитно-резонансная томография голеностопного сустава и стопы: нормальная анатомия и проблемы визуализации / Н. К. Витько, А. Г. Зубанов // Радиология - практика. – 2002. – № 3. – С. 2–14.
9. Кенис, В. М. Тарзальные коалиции у детей (обзор литературы) / В. М. Кенис, Н. В. Никитина // Травматология и ортопедия России. – 2010. – № 3 (16). – С. 159–165.

10. Годунов, С. В. Патологическая анатомия статической плосковальгусной стопы / С. В. Годунов // Стопа и вопросы построения рациональной обуви. – 1968. – С. 109–111.
11. Годунов, С. Ф. Механизм образования некоторых деформаций стоп / С. Ф. Годунов // Стопа и вопросы построения рациональной обуви. – 1972. – С. 42–47.
12. Годунов, С. Ф. Руководство по ортопедии и травматологии / С. Ф. Годунов ; под ред. А. М. Волкова. – Москва, 1984. – 702 с.
13. Джумок, А. А. Состояние свода стопы у детей 8–9 лет, занимающихся и не занимающихся спортом / А. А. Джумок, А. Н. Холзер // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2013. – № 7 (123).
14. Димитриева, А. Ю. Среднесрочные результаты тренировок баланса тела у детей младшего школьного возраста с генерализованной гипермобильностью суставов и симптоматическим мобильным плоскостопием: когортное исследование / А. Ю. Димитриева, В. М. Кенис // Педиатрическая фармакология. – 2021. – Т. 18, № 5. – С. 346–358.
15. Домарев, А. О. Врожденная гипоплазия трехглавой мышцы голени как причина ригидной эквинусной деформации стопы у ребенка 1,5 лет: клиническое наблюдение / А. О. Домарев, О. А. Ключкова, В. М. Кенис // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. – 2022. – Т. 12. – С. 45–46.
16. Дорохин, А. И. Закрытые переломы дистального отдела костей голени. Разнообразие форм и лечения (на примере старших возрастных групп). Ближайшие результаты / А. И. Дорохин, А. И. Куропаткин, А. А. Андрианова [и др.] // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 11–23.
17. Дохов, М. М. Качество жизни детей с плоской стопой (плосковальгусная стопа, продольное плоскостопие) / М. М. Дохов, А. В. Сертакова, С. А. Рубашкин [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2019. – Т. 15, № 2. – С. 271–274.

18. Ежов, М. Ю. Особенности диагностики и лечения статических, паралитических и ятрогенных деформаций суставов стопы / М. Ю. Ежов, О. А. Баталов, Ю. И. Ежов // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, № 5. – С. 830 – 834.
19. Затравкина, Т. Ю. Клинические аспекты плоскостопия с укорочением ахиллова сухожилия у детей и подростков / Т. Ю. Затравкина, М. М. Дохов, С. А. Рубашкин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 6. – С. 153 – 164.
20. Затравкина, Т. Ю. Плоскостопие у детей: этиопатогенез и диагностика / Т. Ю. Затравкина, С. А. Рубашкин, М. М. Дохов // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2018. – Т. 14, № 3. – С. 389 – 395.
21. Зокирходжаев, М. А. Компьютерная плантография в диагностике плоскостопия и методы реабилитационной терапии у детей / М. А. Зокирходжаев // Евразийский Союз Ученых. – 2014. – № 8–6. – С. 130 – 133.
22. Кенис, В. М. Оксфордский опросник оценки состояния стопы у детей (Oxford Ankle Foot Questionnaire): лингвокультурная адаптация в России / В. М. Кенис, А. Ю. Димитриева, Н. А. Супонева [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 135–142.
23. Комачева, О. А. Двигательная активность детей, имеющих различное строение сводов стоп / О. А. Комачева // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2011. – № 5 (75). – С. 68 – 70.
24. Кошман, Г. А. Метод педобарографии в оценке функциональных результатов хирургической коррекции нефиксированного плоскостопия у детей / Г. А. Кошман, А. Г. Мармыш // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2018. – Т. 16, № 1. – С. 41–46.
25. Майоров, Б. А. Артродез голеностопного сустава как результат высокоэнергетического открытого перелома дистального отдела большеберцовой кости: клинический случай / Б. А. Майоров, И. Г. Беленький,

- Г. Д. Сергеев [и др.] // Неотложная хирургия им. И.И. Джанелидзе. – 2023. – № 3. – С. 32–44.
26. Мелихов, Я. П. Актуальные вопросы развития плоскостопия и методы ее коррекции / Я. П. Мелихов // Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры. – 2017. – № 36. – С. 34 – 36.
27. Меркулов, В. Н. Сухожильно-мышечная транспозиция при застарелых повреждениях малоберцового нерва у детей / В. Н. Меркулов, Ш. Д. Имяров, А. И. Дорохин // Детская хирургия. – 2014. – Т. 18, № 3. – С. 20 – 22.
28. Огурцова, Т. Метод обследования опорно-двигательного аппарата человека по отпечаткам стоп в динамике и синтез бионических стелек : автореф. дис. канд. мед. наук / Т. Огурцова. – 2006. – 51 с.
29. Перепелкин, А. И. Исследование продольного свода стопы у детей методом компьютерной плантографии / А. И. Перепелкин, А. И. Краюшкин, Е. С. Атрощенко // Бюллетень медицинских интернет-конференций. – 2015. – Т. 5, № 7. – С. 1053–1057.
30. Потапович, Д. И. Результаты лечения нефиксированной формы продольного плоскостопия у детей методом латерального артрориза подтаранного сустава / Д. И. Потапович // FORCIPE. – 2019. – Приложение. – С. 951–952.
31. Сертакова, А. В. Значимость различных критериев оценки стопы в диагностике плоскостопия у детей / А. В. Сертакова, Т. Ю. Затравкина, С. А. Рубашкин [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2020. – Т. 16, № 4. – С. 905–911.
32. Скворцов, В. В. Плоскостопие у детей и школьников: признаки, причины, диагностика и коррекция / В. В. Скворцов // ГЛАВВРАЧ. – 2019. – № 2. – С. 30–32.
33. Смирнова, Л. М. Качественный анализ динамоплантограммы в оценке функционального состояния стопы / Л. М. Смирнова // Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. – 2006. – № 4. – С. 74–81.

34. Шабалдин, Н. А. Сравнительный анализ положения стопы у детей с использованием индекса позиции стопы (FPI-6) с симптоматическими и бессимптомными формами плоскостопия / Н. А. Шабалдин, О. С. Васильев, Е. А. Михайлова [и др.] // Фундаментальная и клиническая медицина. – 2020. – Т. 5, № 4. – С. 76–83.
35. Шерхова, Д. З. Плоскостопие. Клинические проявления, диагностика и лечение / Д. З. Шерхова, В. С. Гамаонова // Молодой учёный. – 2023. – № 4 (451). – С. 137–139.
36. Ahn, J. Y. Calcaneocuboid Joint Subluxation After the Calcaneal Lengthening Procedure in Children / J. Y. Ahn, S. H. Lee, K. S. Song [et al.] // Foot & Ankle International. – 2014. – Vol. 35, No. 7. – P. 677–682.
37. Alqahtani, E. Accessory anterolateral talar facet associated with tarsal coalition: prevalence and cross-sectional characterization / E. Alqahtani, J. C. Ringenbach, A. M. Zbojnowicz [et al.] // Skeletal Radiology. – 2020. – Vol. 49, No. 3. – P. 417–424.
38. Arangio, G. A. A biomechanical analysis of the effect of lateral column lengthening calcaneal osteotomy on the flat foot / G. A. Arangio, C. Wasser, E. P. Salathe // Clinical Biomechanics. – 2007. – Vol. 22, No. 4. – P. 472–477.
39. Atik, A. Flexible flatfoot / A. Atik, S. Ozyurek // North Clin Istanbul. – 2014. – Vol. 1, No. 1. – P. 57–64.
40. Aurich, M. Anatomical Study of Sinus Tarsi-Based Lateral Lengthening Calcaneal Osteotomy / M. Aurich, T. L. N. Jørgensen, M. S. Andersen [et al.] // Foot & Ankle International. – 2022. – Vol. 43, No. 1. – P. 101–104.
41. DeYoe, B. The Evans calcaneal osteotomy / B. DeYoe, J. Wood // Clinics in Podiatric Medicine and Surgery. – 2005. – Vol. 22, No. 2. – P. 265–276.
42. Sangeorzan, B. J. Effect of calcaneal lengthening on relationships among the hindfoot, midfoot, and forefoot / B. J. Sangeorzan, V. Mosca, S. T. Hansen // Foot and Ankle. – 1993. – Vol. 14, No. 3. – P. 63 – 69.
43. Badenoch, J. Knock-knee in Children / J. Badenoch, D. C. M. Barlow, A. W. Fowler [et al.] // British Medical Journal. – 1957. – Vol. 2, No. 5051. – P. 976 – 981.

44. Banwell, H. A. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review / H. A. Banwell, N. L. W. Keen, M. F. Morris [et al.] // *Journal of Foot and Ankle Research*. – 2018. – Vol. 11, No. 1. – P. 11 – 21.
45. Basmajian, J. V. The role of muscles in arch support of the foot / J. V. Basmajian, G. Stecko // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 1963. – Vol. 45. – P. 1184–1190.
46. Bernasconi, A. Midterm assessment of subtalar arthroereisis for correction of flexible flatfeet in children / A. Bernasconi, F. Lintz, F. Sadile [et al.] // *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. – 2020. – Vol. 106, No. 1. – P. 185–191.
47. Bernasconi, A. The role of arthroereisis of the subtalar joint for flatfoot in children and adults / A. Bernasconi, F. Lintz, F. Sadile // *EFORT Open Reviews*. – 2017. – Vol. 2, No. 11. – P. 438–446.
48. Black, P. R. M. The Viladot implant in flatfooted children / P. R. M. Black, W. J. M. Betts, W. C. H. Couser [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2000. – Vol. 21, No. 6. – P. 478–481.
49. Blackman, A. J. Cadaveric flatfoot model: ligament attenuation and Achilles tendon overpull / A. J. Blackman, L. C. Blevins, V. A. Sangeorzan [et al.] // *Journal of Orthopaedic Research*. – 2009. – Vol. 27, No. 12. – P. 1547–1554.
50. Van Boerum, D. H. Biomechanics and pathophysiology of flat foot / D. H. Van Boerum, B. J. Sangeorzan // *Foot and Ankle Clinics*. – 2003. – Vol. 8, No. 3. – P. 419–430.
51. Böhm, H. Clinical, Radiographic and Gait Parameters Associated with Medial Arch Pain in the Flexible Pediatric Flatfoot / H. Böhm, C. U. Dussa // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2023.
52. Bonasia, D. E. Endoscopic Coalition Resection / D. E. Bonasia, P. Phisitkul, A. Amendola // *Foot and Ankle Clinics*. – 2015. – Vol. 20, No. 1. – P. 81–91.
53. Bouchard, M. Flatfoot deformity in children and adolescents: surgical indications and management / M. Bouchard, V. S. Mosca // *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. – 2014. – Vol. 22, No. 10. – P. 623–632.

54. Ortiz, C. Arthroereisis: What Have We Learned? / C. Ortiz, E. Wagner, P. Wagner // *Foot and Ankle Clinics*. – 2018. – Vol. 23, No. 3. – P. 415–434.
55. Schon, L. C. Consensus for the Indication of a Medializing Displacement Calcaneal Osteotomy in the Treatment of Progressive Collapsing Foot Deformity / L. C. Schon, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2020. – Vol. 41, No. 10. – P. 1282–1285.
56. Young, C. Clinical examination of the foot and ankle / C. Young, D. E. Nunley, J. A. DiStazio [et al.] // *Primary Care*. – 2005. – Vol. 32, No. 1. – P. 105–132.
57. Canavese, F. Postoperative CT-scan 3D reconstruction of the calcaneus following lateral calcaneal lengthening osteotomy for flatfoot deformity in children. Is the surgical procedure potentially associated with subtalar joint damage? / F. Canavese, A. Dimeglio, F. Bonnel // *Foot and Ankle Surgery*. – 2018. – Vol. 24, No. 5. – P. 453–459.
58. Carr, J. B. Pediatric pes planus: A state-of-the-art review / J. B. Carr, S. Yang, L. A. Lather // *Pediatrics*. – 2016. – Vol. 137, No. 3. – P. 122 – 126.
59. Carson, C. W. Tarsal coalition: An unusual cause of foot pain—Clinical spectrum and treatment in 129 patients / C. W. Carson, D. R. Gorman, R. J. Huffer [et al.] // *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. – 1991. – Vol. 20, No. 6. – P. 367–377.
60. Cashmere, T. Medial longitudinal arch of the foot: stationary versus walking measures / T. Cashmere, R. Smith, A. Hunt // *Foot & Ankle International*. – 1999. – Vol. 20, No. 2. – P. 112–118.
61. Cass, A. D. A review of tarsal coalition and pes planovalgus: clinical examination, diagnostic imaging, and surgical planning / A. D. Cass, C. A. Camasta // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2010. – Vol. 49, No. 3. – P. 274–293.
62. Catanzariti, A. R. Posterior calcaneal displacement osteotomy for adult acquired flatfoot / A. R. Catanzariti, M. S. Lee, R. W. Mendicino // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2000. – Vol. 39, No. 1. – P. 2–14.
63. Ceroni, D. Calcaneus secundarius presenting as calcaneonavicular coalition: a case report / D. Ceroni, A. M. De Coulon, V. De Rosa [et al.] // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2006. – Vol. 45, No. 1. – P. 25–27.

64. Chang, H.-W. Three-dimensional measurement of foot arch in preschool children / H.-W. Chang, M.-Y. Chieh, C.-H. Lin [et al.] // *Journal of Biomechanics*. – 2012. – P. 321 – 353.
65. Chang, S. H. The Effect of Gastrocnemius Recession and Tendo-Achilles Lengthening on Adult Acquired Flatfoot Deformity Surgery: A Systematic Review / S. H. Chang, J. L. Mercer, M. S. Myerson [et al.] // *The Journal of Foot and Ankle Surgery*. – 2020. – Vol. 59, No. 6. – P. 1248–1253.
66. Chen, L. Achilles lengthening procedures / L. Chen, J. Greisberg // *Foot and Ankle Clinics*. – 2009. – Vol. 14, No. 4. – P. 627–637.
67. Chong, D. Y. Prospective comparison of subtalar arthroereisis with lateral column lengthening for painful flatfeet / D. Y. Chong, M. J. Aiyer, M. S. Myerson [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*. – 2015. – Vol. 24, No. 4. – P. 345–353.
68. Chuckpaiwong, B. Correlation between static foot type measurements and clinical assessments / B. Chuckpaiwong, J. A. Nunley, R. M. Queen // *Foot & Ankle International*. – 2009. – Vol. 30, No. 3. – P. 205–212.
69. Coll Bosch, M. D. Estudio evolutivo del pie plano infantil / M. D. Coll Bosch. – 1998. – 255 p.
70. Cooper, P. S. Calcaneocuboid Joint Pressures with Lateral Column Lengthening (Evans) Procedure / P. S. Cooper, M. D. Nowak, J. Shaer // *Foot & Ankle International*. – 1997. – Vol. 18, No. 4. – P. 199–205.
71. Costa, F. P. Long-Term Outcomes of the Calcaneo-Stop Procedure in the Treatment of Flexible Flatfoot in Children: A Retrospective Study / F. P. Costa, J. A. Maia, P. M. Pinho [et al.] // *Acta Medica Portuguesa*. – 2017. – Vol. 30, No. 7-8. – P. 541–545.
72. Cowan, D. N. Consistency of visual assessments of arch height among clinicians / D. N. Cowan, B. H. Jones, J. R. Robinson [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 1994. – Vol. 15, No. 4. – P. 213–217.
73. Crary, J. L. The effect of plantar fascia release on strain in the spring and long plantar ligaments / J. L. Crary, J. M. Hollis, A. Manoli // *Foot & Ankle International*. – 2003. – Vol. 24, No. 3. – P. 245–250.

74. Crim, J. R. Radiographic Diagnosis of Tarsal Coalition / J. R. Crim, K. M. Kjeldsberg // American Journal of Roentgenology. – 2004. – Vol. 182, No. 2. – P. 323–328.
75. Czurda, T. Triple arthrodesis in treatment of degenerative hindfoot deformities: clinical, radiological and pedobarographic results / T. Czurda, R. Nelissen, F. J. Sanders [et al.] // Zeitschrift fur Orthopadie und Unfallchirurgie. – 2009. – Vol. 147, No. 3. – P. 356–361.
76. Dahle, L. K. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury / L. K. Dahle, M. Mueller, B. Delitto [et al.] // The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy. – 1991. – Vol. 14, No. 2. – P. 70–74.
77. Dare, D. M. Pediatric flatfoot: Cause, epidemiology, assessment, and treatment / D. M. Dare, E. R. Dodwell // Current Opinion in Pediatrics. – 2014. – Vol. 26, No. 1. – P. 93–100.
78. Didia, B. C. The use of footprint contact index II for classification of flat feet in a Nigerian population / B. C. Didia, E. T. Omu, A. A. Obuoforibo // Foot & Ankle. – 1987. – Vol. 7, No. 5. – P. 285–289.
79. DiGiovanni, C. W. Isolated gastrocnemius tightness / C. W. DiGiovanni, T. H. Kuo, J. E. Johnson [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume. – 2002. – Vol. 84, No. 6. – P. 962–970.
80. DiGiovanni, C. W. The role of isolated gastrocnemius and combined Achilles contractures in the flatfoot / C. W. DiGiovanni, P. Langer // Foot and Ankle Clinics. – 2007. – Vol. 12, No. 2. – P. 363–379.
81. Duchenne, G. B. Physiology of motion / G. B. Duchenne. – Philadelphia : WB Saunders, 1959. – 337 p.
82. Echarri, J. J. The development in footprint morphology in 1851 Congolese children from urban and rural areas, and the relationship between this and wearing shoes / J. J. Echarri, F. Forriol // Journal of Pediatric Orthopedics. Part B. – 2003. – Vol. 12, No. 2. – P. 141–146.

83. El, O. Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of a screening study / O. El, O. Akcali, C. Kosay [et al.] // *Rheumatology International*. – 2006. – Vol. 26, No. 11. – P. 1050–1053.
84. Elveru, R. A. Goniometric reliability in a clinical setting. Subtalar and ankle joint measurements / R. A. Elveru, J. M. Rothstein, R. L. Lamb // *Physical Therapy*. – 1988. – Vol. 68, No. 5. – P. 672–677.
85. Ettinger, S. Comparison of Anatomic Structures at Risk With 2 Lateral Lengthening Calcaneal Osteotomies / S. Ettinger, T. Mattinger, L. R. G. C. L. [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2018. – Vol. 39, No. 12. – P. 1481–1486.
86. Ettinger, S. Outcomes of Evans Versus Hintermann Calcaneal Lengthening Osteotomy for Flexible Flatfoot / S. Ettinger, T. Mattinger, C. Stukenborg-Colsman [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2019. – Vol. 40, No. 6. – P. 661–671.
87. Evans, A. M. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position / A. M. Evans, I. B. D. W. Copper, R. Scutter // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2003. – Vol. 93, No. 3. – P. 203–213.
88. Evans, A. M. Paediatric Flatfeet - a 2020 guide for clinicians to identify the «Boomerangs» / A. M. Evans // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2021. – P. 128 – 134.
89. Evans, A. M. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet / A. M. Evans, K. Rome // *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. – 2011. – Vol. 47, No. 1. – P. 69–89.
90. Evans, D. Calcaneo valgus deformity / D. Evans // *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B*. – 1975. – Vol. 57, No. 3. – P. 69 – 75.
91. Furrer, P. R. The Importance of the Entry Point and Osteotomy Direction in Calcaneal Lengthening Osteotomy / P. R. Furrer, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle Orthopaedics*. – 2025. – Vol. 10, No. 3. – P. 247 - 251.
92. García-Rodríguez, A. Flexible flat feet in children: a real problem? / A. García-Rodríguez, F. J. Martínez-Sánchez, J. L. L. López-López [et al.] // *Pediatrics*. – 1999. – Vol. 103, No. 6. – P. 512 – 518.

93. Garg, V. Resection of Bar in the Management of Calcaneonavicular Coalition: A Systematic Review / V. Garg, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2023. – P. 28 – 33.
94. Gentili, A. Pictorial review: Foot axes and angles / A. Gentili, S. Masih, P. L. Yao [et al.] // *British Journal of Radiology*. – 1996. – Vol. 69, No. 826. – P. 968–974.
95. Ghanem, I. Understanding the foot's functional anatomy in physiological and pathological conditions: the calcaneopedal unit concept / I. Ghanem, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2019. – Vol. 13, No. 2. – P. 134–146.
96. Ghazaleh, L. Ground reaction force analysis in flexible and rigid flatfoot subjects / L. Ghazaleh, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. – 2024. – Vol. 39. – P. 441–446.
97. Ghorbani, M. The impact of flatfeet on the correlation between functional movement scores, balance, agility, and core muscle strength in young females: a cross-sectional study / M. Ghorbani, A. R. Motealleh, M. S. Myerson [et al.] // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – P. 1–8.
98. Gray, E. G. Electromyography and cinematography of leg and foot ("normal" and flat) during walking / E. G. Gray, J. V. Basmajian // *The Anatomical Record*. – 1968. – Vol. 161, No. 1. – P. 1–15.
99. Böhm, H. Cluster analysis to identify foot motion patterns in children with flexible flatfeet using gait analysis-A statistical approach to detect decompensated pathology? / H. Böhm, C. U. Dussa, M. S. Myerson [et al.] // *Gait & Posture*. – 2019. – Vol. 71. – P. 151–156.
100. Böhm, H. Is there a correlation between static radiographs and dynamic foot function in pediatric foot deformities? / H. Böhm, C. U. Dussa, M. S. Myerson [et al.] // *Foot and Ankle Surgery*. – 2020. – Vol. 26, No. 7.
101. Vogler, H. Subtalar joint blocking operations for pathological pronation syndromes / H. Vogler // *Comprehensive Textbook of Foot Surgery (Baltimore)*. – 1987. – Vol. 4. – P. 153–155.

102. Halabchi, F. Pediatric Flexible Flatfoot; Clinical Aspects and Algorithmic Approach / F. Halabchi, R. Mazaheri, M. Mirshamsi [et al.] // Iranian Journal of Pediatrics. – 2013. – Vol. 23, No. 3. – P. 247.
103. Hampton, D. A. Equinus Deformity as a Compensatory Mechanism for Ankle Plantarflexor Weakness in Cerebral Palsy / D. A. Hampton, K. W. Hollander, J. R. Engsborg // Journal of Applied Biomechanics. – 2003. – Vol. 19, No. 4. – P. 325–339.
104. Haritidis, J. H. Long-term results of triple arthrodesis: 42 cases followed for 25 years / J. H. Haritidis, K. A. Kirienko, V. A. Sangeorzan [et al.] // Foot & Ankle International. – 1994. – Vol. 15, No. 10. – P. 548–551.
105. Harris, E. J. The natural history and pathophysiology of flexible flatfoot / E. J. Harris // Clinics in Podiatric Medicine and Surgery. – 2010. – Vol. 27, No. 1. – P. 1–23.
106. Harris, R. I. Army foot survey. An investigation of foot ailments in Canadian soldiers / R. I. Harris, T. Beath // National Research Council of Canada. – 1947. – P. 366 – 374.
107. Hicks, J. H. The mechanics of the foot: I. The joints / J. H. Hicks // Journal of Anatomy. – 1953. – Vol. 87, Pt 4. – P. 345 – 355.
108. Hicks, J. H. The mechanics of the foot: II. The plantar aponeurosis and the arch / J. H. Hicks // Journal of Anatomy. – 1954. – Vol. 88, Pt 1. – P. 25 – 37.
109. Hoke, M. An operation for the correction of extremely relaxed flat feet / M. Hoke // Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume. – 1931. – P. 455 – 462.
110. Hösl, M. Does excessive flatfoot deformity affect function? A comparison between symptomatic and asymptomatic flatfeet using the Oxford Foot Model / M. Hösl, H. Böhm, A. D. D. [et al.] // Gait and Posture. – 2014. – Vol. 39, No. 1. – P. 23–28.
111. Hsieh, C. H. Body Weight Effects on Extra-Osseous Subtalar Arthroereisis / C. H. Hsieh, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2019. – Vol. 8, No. 9. – P. 127 – 130.
112. Huang, C. K. Biomechanical evaluation of longitudinal arch stability / C.K. Huang, H.B. Kitaoka, K.N. An [et al.] // Foot & Ankle. – 1993. – Vol. 14, No. 6. – P. 353–357.

113. Mathieson, I. Examining the validity of selected measures of foot type: a preliminary study / I. Mathieson, D. Upton, D. Trevor // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2004. – Vol. 94, No. 3. – P. 275–281.
114. Inman, V. T. Human walking / V. T. Inman, H. J. Ralston, F. Todd. – Williams & Wilkins, 1982. – 154 p.
115. Brilhault, J. Calcaneal osteotomy for hindfoot deformity / J. Brilhault // *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. – 2022. – Vol. 108, No. 1S. – P. 255 – 261.
116. Hamel, J. Is it possible to define reference values for radiographic parameters evaluating juvenile flatfoot deformity? A case-control study / J. Hamel, H. Hörterer, N. Harrasser // *BMC Musculoskeletal Disorders*. – 2020. – Vol. 21, No. 1. – P. 211 – 222.
117. Soni, J. Tarsal coalition / J. Soni, W. Valenza, C. Matsunaga // *Current Opinion in Pediatrics*. – 2020. – Vol. 32, No. 1. – P. 93–99.
118. Jack, E. A. Naviculo-cuneiform fusion in the treatment of flat foot / E. A. Jack // *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. – 1953. – Vol. 35 B, No. 1. – P. 75–82.
119. Jackson, T. J. Incidence of Symptomatic Pediatric Tarsal Coalition in Olmsted County: A Population-Based Study / T. J. Jackson, M. J. Aiyer, M. S. Myerson [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 2021. – Vol. 103, No. 2. – P. 155–161.
120. Jacobs, A. M. Soft tissue procedures for the stabilization of medial arch pathology in the management of flexible flatfoot deformity / A. M. Jacobs // *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. – 2007. – Vol. 24, No. 4. – P. 657–665.
121. Jara, M. E. Evans Osteotomy Complications / M. E. Jara // *Foot and Ankle Clinics*. – 2017. – Vol. 22, No. 3. – P. 573–585.
122. Bauer, K. What's new in pediatric flatfoot? / K. Bauer, V. Mosca, L. Zions // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2016. – Vol. 36, No. 8. – P. 865–869.
123. Kadakia, A. R. Did Failure Occur Because of Medial Column Instability That Was Not Recognized, or Did It Develop After Surgery? / A. R. Kadakia, M. S. Myerson,

- J. K. Thordarson [et al.] // *Foot and Ankle Clinics*. – 2017. – Vol. 22, No. 3. – P. 545–562.
124. Kelikian, A. When to operate on pediatric flatfoot / A. Kelikian, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle Specialist*. – 2011. – Vol. 4, No. 2. – P. 112–119.
 125. Kerr, C. M. Static postural differences between neutral and flat feet in children with and without symptoms / C. M. Kerr, H. Böhm, C. U. Dussa [et al.] // *Clinical Biomechanics*. – 2015. – Vol. 30, No. 3. – P. 314–317.
 126. Kim, H. Y. Gait Analysis of Symptomatic Flatfoot in Children: An Observational Study / H. Y. Kim, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Clinics in Orthopedic Surgery*. – 2017. – Vol. 9, No. 3. – P. 363–373.
 127. Kirby, K. A. Methods for determination of positional variations in the subtalar joint axis / K. A. Kirby // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 1987. – Vol. 77, No. 5. – P. 228–234.
 128. Kirby, K. A. Rotational equilibrium across the subtalar joint axis / K. A. Kirby // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 1989. – Vol. 79, No. 1. – P. 1–14.
 129. Kirby, K. A. Biomechanics of the normal and abnormal foot / K. A. Kirby // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2000. – Vol. 90, No. 1. – P. 30–34.
 130. Knutzen, K. M. Lower extremity static and dynamic relationships with rearfoot motion in gait / K. M. Knutzen, A. Price // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 1994. – Vol. 84, No. 4. – P. 171–180.
 131. Kou, J. X. Functional results of posterior tibial tendon reconstruction, calcaneal ostetomy, and gastrocnemius recession / J. X. Kou, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot and Ankle International*. – 2012. – Vol. 33, No. 7. – P. 602–611.
 132. Kubo, H. Outcome after subtalar screw arthroereisis in children with flexible flatfoot depends on time of treatment: Midterm results of 95 cases / H. Kubo, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Orthopaedic Science*. – 2020. – Vol. 25, No. 3. – P. 497–502.

133. Kwon, J. Y. Management of the flexible flat foot in the child: a focus on the use of osteotomies for correction / J. Y. Kwon, M. S. Myerson // *Foot and Ankle Clinics*. – 2010. – Vol. 15, No. 2. – P. 309–322.
134. Staheli, L. Evaluation of planovalgus foot deformities with special reference to the natural history / L. Staheli // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 1987. – Vol. 77, No. 1. – P. 2–6.
135. Lee, W. C. Achilles tendon lengthening by triple hemisection in adult / W. C. Lee, H. S. Ko // *Foot & Ankle International*. – 2005. – Vol. 26, No. 12. – P. 1017–1020.
136. Lin, C. J. Correlating factors and clinical significance of flexible flatfoot in preschool children / C. J. Lin, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2001. – Vol. 21, No. 3. – P. 264 – 268.
137. De Pellegrin, M. Subtalar Arthroereisis for Surgical Treatment of Flexible Flatfoot / M. De Pellegrin, D. Moharamzadeh // *Foot and Ankle Clinics*. – 2021. – Vol. 26, No. 4. – P. 765–805.
138. Vergillos Luna, M. Pediatric Flatfoot: Is There a Need for Surgical Referral? / M. Vergillos Luna, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. – 2023. – Vol. 12, No. 11. – P. 155 – 159.
139. Martinelli, N. Return to sport activities after subtalar arthroereisis for correction of pediatric flexible flatfoot / N. Martinelli, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopaedics Part B*. – 2018. – Vol. 27, No. 1. – P. 82–87.
140. McCormick, J. J. Medial column procedures in the correction of adult acquired flatfoot deformity / J. J. McCormick, J. E. Johnson // *Foot and Ankle Clinics*. – 2012. – Vol. 17, No. 2. – P. 283–298.
141. McPoil, T. G. Use of the longitudinal arch angle to predict dynamic foot posture in walking / T. G. McPoil, M. W. Cornwall // *Journal of the American Podiatric Medical Association*. – 2005. – Vol. 95, No. 2. – P. 114–120.
142. Mehanna, J. Risk Factors for Failure of Calcaneal Lengthening Osteotomy in Children and Adolescents With Planovalgus Foot Deformity: A Retrospective Study / J. Mehanna, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Cureus*. – 2023. – P. 198 – 201.

143. Mentiplay, B. F. Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture / B. F. Mentiplay, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Foot and Ankle Research*. – 2013. – Vol. 6, No. 1. – P. 55 – 61.
144. Root, M. L. Normal and Abnormal Function of the Foot / M. L. Root, J. H. Weed, W. P. Orien. – *Clinical Biomechanics Corporation*, 1977. – 478 p.
145. Metzl, J. A. Naviculocuneiform Sag in the Acquired Flatfoot: What to Do / J. A. Metzl // *Foot and Ankle Clinics*. – 2017. – Vol. 22, No. 3. – P. 529–544.
146. Moraleda, L. Flexible flatfoot: differences in the relative alignment of each segment of the foot between symptomatic and asymptomatic patients / L. Moraleda, S. J. Mubarak // *Journal of Pediatric Orthopedics*. – 2011. – Vol. 31, No. 4. – P. 421–428.
147. Mosca, V. Flexible flatfoot in children and adolescents / V. Mosca // *Journal of Children's Orthopaedics*. – 2010. – Vol. 4, No. 2. – P. 107–121.
148. Mosca, V. S. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot: Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot / V. S. Mosca // *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*. – 1995. – Vol. 77, No. 4. – P. 185 – 191.
149. Mosca, V. S. Subtalar Coalition in Pediatrics / V. S. Mosca // *Foot and Ankle Clinics*. – 2015. – Vol. 20, No. 2. – P. 265–281.
150. Mosca, V. S. Talocalcaneal tarsal coalitions and the calcaneal lengthening osteotomy: The role of deformity correction / V. S. Mosca, W. P. Bevan // *Journal of Bone and Joint Surgery*. – 2012. – Vol. 94, No. 17. – P. 1584–1594.
151. Mosier, K. M. Tarsal coalitions and peroneal spastic flat foot. A review / K. M. Mosier, M. T. Asher // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 1984. – Vol. 66, No. 7. – P. 976–984.
152. Mueller, G. Impact of the medial displacement calcaneal osteotomy on foot biomechanics: a systematic literature review / G. Mueller, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. – 2024. – Vol. 144, No. 5. – P. 1955–1967.
153. Murphy, J. S. Talocalcaneal Coalitions / J. S. Murphy, S. J. Mubarak // *Foot and Ankle Clinics*. – 2015. – Vol. 20, No. 4. – P. 681–691.

154. Nachbauer, W. Effects of arch height of the foot on ground reaction forces in running / W. Nachbauer, B. M. Nigg // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. – 1992. – Vol. 24, No. 11. – P. 1264–1269.
155. Needleman, R. L. A surgical approach for flexible flatfeet in adults including a subtalar arthroereisis with the MBA sinus tarsi implant / R. L. Needleman // *Foot & Ankle International*. – 2006. – Vol. 27, No. 1. – P. 9–18.
156. Niki, H. Peroneal spastic flatfoot in adolescents with accessory talar facet impingement: a preliminary report / H. Niki, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Pediatric Orthopedics. Part B*. – 2015. – Vol. 24, No. 4. – P. 354–361.
157. Nyska, M. The contribution of the medial calcaneal osteotomy to the correction of flatfoot deformities / M. Nyska, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2001. – Vol. 22, No. 4. – P. 278–282.
158. Ozan, F. Symptomatic flexible flatfoot in adults: subtalar arthroereisis / F. Ozan, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Therapeutics and Clinical Risk Management*. – 2015. – Vol. 11. – P. 1597–1602.
159. Özdemir, E. Treatment of calcaneonavicular coalition accompanied by an accessory anterolateral talar facet / E. Özdemir, G. Dursun, G. Yılmaz // *Joint Diseases and Related Surgery*. – 2022. – Vol. 33, No. 1. – P. 245–248.
160. Bresnahan, P. Pediatric Flatfeet—A Disease Entity That Demands Greater Attention and Treatment / P. Bresnahan, M. Juanto // *Frontiers in Pediatrics*. – 2020. – Vol. 8. – P. 255 – 261.
161. Docquier, P. L. Tarsal coalition in paediatric patients / P. L. Docquier, P. Maldaque, M. Bouchard // *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. – 2019. – Vol. 105, No. 1S. – P. S123–S131.
162. Fernández de Retana, P. Subtalar arthroereisis in pediatric flatfoot reconstruction / P. Fernández de Retana, F. Álvarez, R. Viladot // *Foot and Ankle Clinics*. – 2010. – Vol. 15, No. 2. – P. 323–335.
163. Highlander, P. Subtalar arthroereisis / P. Highlander, W. Sung, L. Weil // *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. – 2011. – Vol. 28, No. 4. – P. 745–754.

164. Pauk, J. Analysis and assessment of foot posture in children with flat feet / J. Pauk // PAMM. – 2009. – Vol. 9, No. 1. – P. 27–30.
165. Pavone, V. Outcomes of the calcaneo-stop procedure for the treatment of juvenile flatfoot in young athletes / V. Pavone, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Children's Orthopaedics. – 2018. – Vol. 12, No. 6. – P. 582–589.
166. Pavone, V. Effects of body weight on the clinical and radiological outcomes of children with flexible flatfeet managed with the «calcaneo-stop» procedure / V. Pavone, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Pediatric Orthopaedics Part B. – 2019. – Vol. 28, No. 3. – P. 228–234.
167. Pavone, V. Diagnosis and treatment of flexible flatfoot: Results of 2019 flexible flatfoot survey from the European Paediatric Orthopedic Society / V. Pavone, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Pediatric Orthopaedics Part B. – 2021. – P. 155 – 159.
168. Pavone, V. Results of the Italian Pediatric Orthopedics Society juvenile flexible flatfoot survey: diagnosis and treatment options / V. Pavone, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Pediatric Orthopaedics B. – 2022. – Vol. 31, No. 1. – P. 55 – 62.
169. Pecheva, M. Long-term follow-up of patients undergoing tibialis posterior transfer: Is acquired pes planus a complication? / M. Pecheva, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Foot. – 2018. – Vol. 34. – P. 83–89.
170. De Pellegrin, M. Subtalar extra-articular screw arthroereisis (SESA) for the treatment of flexible flatfoot in children / M. De Pellegrin, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Children's Orthopaedics. – 2014. – Vol. 8, No. 6. – P. 479–487.
171. Pfeiffer, M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children / M. Pfeiffer, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Pediatrics. – 2006. – Vol. 118, No. 2. – P. 634–639.
172. Pinney, S. J. The effect on ankle dorsiflexion of gastrocnemius recession / S. J. Pinney, S. T. Hansen, B. J. Sangeorzan // Foot & Ankle International. – 2002. – Vol. 23, No. 1. – P. 26–29.

173. Pinney, S. J. Surgical anatomy of the gastrocnemius recession (Strayer procedure) / S. J. Pinney, B. J. Sangeorzan, S. T. Hansen // *Foot & Ankle International*. – 2004. – Vol. 25, No. 4. – P. 247–250.
174. Pita-Fernandez, S. Flat Foot in a Random Population and its Impact on Quality of Life and Functionality / S. Pita-Fernandez, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. – 2017. – Vol. 11, No. 4. – P. 22–27.
175. Cailliet, R. Foot and ankle pain / R. Cailliet. – Jaypee Brothers, 2005. – 287 p.
176. Harris, R. Hypermobility flat-foot with short tendo achillis / R. Harris, T. Beath // *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. – 1948. – Vol. 30 A, No. 1. – P. 199 – 205.
177. Ragab, A. A. Implications of Subtalar Joint Anatomic Variation in Calcaneal Lengthening Osteotomy / A. A. Ragab, S. L. Stewart, D. R. Cooperman // *Journal of Pediatric Orthopaedics*. – 2003. – Vol. 23, No. 1. – P. 79–83.
178. Razeghi, M. Foot type classification: A critical review of current methods / M. Razeghi, M. E. Batt // *Gait and Posture*. – 2002. – Vol. 15, No. 3. – P. 282–291.
179. Redmond, A. C. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index / A. C. Redmond, J. Crosbie, R. A. Ouvrier // *Clinical Biomechanics*. – 2006. – Vol. 21, No. 1. – P. 89–98.
180. Rodriguez, N. Clinical Diagnosis and Assessment of the Pediatric Pes Planovalgus Deformity / N. Rodriguez, R. G. Volpe // *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. – 2010. – Vol. 27, No. 1. – P. 43–58.
181. Roth, S. Minimally invasive calcaneo-stop method for idiopathic, flexible pes planovalgus in children / S. Roth, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2007. – Vol. 28, No. 9. – P. 991–995.
182. Roth, S. Navicular index for differentiation of flatfoot from normal foot / S. Roth, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *International Orthopaedics*. – 2013. – Vol. 37, No. 6. – P. 1107 – 1110.
183. Ruiz-Picazo, D. Radiographic and Functional Results following Subtalar Arthroereisis in Pediatric Flexible Flatfoot / D. Ruiz-Picazo, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Advances in Orthopedics*. – 2019. – Vol. 2019. – P. 506 – 509.

184. Saltzman, C. L. Triple arthrodesis: twenty-five and forty-four-year average follow-up of the same patients / C. L. Saltzman, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume. – 1999. – Vol. 81, No. 10. – P. 1391–1402.
185. Saxena, A. Endoscopic gastrocnemius recession: Preliminary report on 18 cases / A. Saxena, A. Widtfeldt // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2004. – Vol. 43, No. 5. – P. 302–306.
186. Scharer, B. M. Treatment of painful pediatric flatfoot with Maxwell-Brancheau subtalar arthroereisis implant a retrospective radiographic review / B. M. Scharer, B. E. Black, N. Sockrider // Foot & Ankle Specialist. – 2010. – Vol. 3, No. 2. – P. 67–72.
187. Seymour, N. The late results of naviculo-cuneiform fusion / N. Seymour // The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume. – 1967. – Vol. 49, No. 3. – P. 558–559.
188. Sobel, E. Reevaluation of the relaxed calcaneal stance position. Reliability and normal values in children and adults / E. Sobel, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of the American Podiatric Medical Association. – 1999. – Vol. 89, No. 5. – P. 258–264.
189. Southerland, J. T. McGlamry's Comprehensive Textbook of Foot and Ankle Surgery, 4e / J. T. Southerland, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.]. – 2012. – 455 p.
190. Staheli, L. T. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults / L. T. Staheli, D. E. Chew, M. Corbett // Journal of Bone and Joint Surgery - Series A. – 1987. – Vol. 69, No. 3. – P. 426–428.
191. Stauff, M. P. Functional outcome after percutaneous tendo-Achilles lengthening / M. P. Stauff, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Foot and Ankle Surgery. – 2011. – Vol. 17, No. 1. – P. 29–32.
192. Stellar, D. The Role of Equinus in Flatfoot Deformity / D. Stellar, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Clinics in Podiatric Medicine and Surgery. – 2023. – Vol. 40, No. 2. – P. 247–260.

193. Sterian, A. G. Quality of Life after Flatfoot Surgery in the Pediatric Population / A. G. Sterian, A. Ulici // *Journal of Medicine and Life*. – 2020. – Vol. 13, No. 3. – P. 356–361.
194. Suh, D. H. Lateral column lengthening versus subtalar arthroereisis for paediatric flatfeet: a systematic review / D. H. Suh, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *International Orthopaedics*. – 2019. – Vol. 43, No. 5. – P. 1179–1192.
195. Tankson, C. J. The Cotton osteotomy: indications and techniques / C. J. Tankson // *Foot and Ankle Clinics*. – 2007. – Vol. 12, No. 2. – P. 309–315.
196. Terada, M. Intra-rater and inter-rater reliability of the five image-based criteria of the Foot Posture Index-6 / M. Terada, A. M. Wittwer, P. A. Gribble // *International Journal of Sports Physical Therapy*. – 2014. – Vol. 9, No. 2. – P. 196 – 200.
197. Leemrijse, T. Pathologie du pied et de la cheville / T. Leemrijse, J.-L. Besse, B. Valtin [et al.] ; sous la dir. de T. Leemrijse. – 2-e éd. – Elsevier Masson, 2015. – 988 p.
198. Thordarson, D. B. Dynamic Support of the Human Longitudinal Arch / D. B. Thordarson, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. – 1995. – Vol. 316. – P. 165–172.
199. Thordarson, D. B. Consensus for the Indication of Lateral Column Lengthening in the Treatment of Progressive Collapsing Foot Deformity / D. B. Thordarson, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Foot & Ankle International*. – 2020. – Vol. 41, No. 10. – P. 1286–1288.
200. Tudor, A. Flat-Footedness Is Not a Disadvantage for Athletic Performance in Children Aged 11 to 15 Years / A. Tudor, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *Pediatrics*. – 2009. – Vol. 123, No. 3. – P. e386–e392.
201. Urukalo, J. The F-words relating to symptomatic flexible flat feet: A scoping review / J. Urukalo, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // *PLOS One*. – 2025. – Vol. 20, No. 5. – P. e310 – e315.
202. Vedantam, R. Subtalar arthroereisis for the correction of planovalgus foot in children with neuromuscular disorders / R. Vedantam, A. Capelli, P. Schoenecker // *Journal of Pediatric Orthopedics*. – 1998. – Vol. 18, No. 3. – P. 294–298.

203. Vescio, A. World Journal of Orthopedics Arthroereisis in juvenile flexible flatfoot: Which device should we implant? A systematic review of literature published in the last 5 years / A. Vescio, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // World Journal of Orthopedics. – 2021. – Vol. 12, No. 6. – P. 433–444.
204. Villar, R. The Lateral Calcaneal Lengthening Osteotomy (LCLOT)—A Contemporary Review / R. Villar, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 14, No. 6. – P. 1789 – 1792.
205. Wadehra, A. Surgical Management of Stage 2 Adult and Pediatric Acquired Flatfoot Without Tendon Transfer or Arthrodesis: A Retrospective Study / A. Wadehra, L. M. Fallat, R. Jarski // The Journal of Foot and Ankle Surgery. – 2018. – Vol. 57, No. 4. – P. 658–663.
206. Walters, J. L. Flexible adult flatfoot: soft tissue procedures / J. L. Walters, S. S. Mendicino // Clinics in Podiatric Medicine and Surgery. – 2014. – Vol. 31, No. 3. – P. 349–355.
207. de Wouters, S. Patient-specific instruments for surgical resection of painful tarsal coalition in adolescents / S. de Wouters, D. Tran Duy K., P. L. Docquier // Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. – 2014. – Vol. 100, No. 4. – P. 423–427.
208. Wright, D. G. Action of the Subtalar and Ankle-Joint Complex During the Stance Phase of Walking / D. G. Wright, S. M. Desai, W. H. Henderson // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 1964. – Vol. 46, No. 2. – P. 361–464.
209. Zaidman, M. Resection of Talocalcaneal Coalition With Calcaneal Lengthening Osteotomy: Short-to-Intermediate-Term Results / M. Zaidman, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // Foot & Ankle International. – 2024. – P. 16 – 27.
210. Zanolli, D. H. Biomechanical assessment of flexible flatfoot correction: comparison of techniques in a cadaver model / D. H. Zanolli, M. S. Myerson, J. K. Thordarson [et al.] // The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume. – 2014. – Vol. 96, No. 6. – P. e45(1).