

На правах рукописи

САПОГОВСКИЙ
Андрей Викторович

**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДЕТЕЙ
С РИГИДНЫМ ПЛОСКОСТОПИЕМ**

3.1.8. Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Санкт-Петербург

2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турина» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный консультант:

доктор медицинских наук профессор **Кенис Владимир Маркович**

Официальные оппоненты:

Беленький Игорь Григорьевич – доктор медицинских наук профессор, ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», отдел травматологии и ортопедии, руководитель;

Вавилов Максим Александрович – доктор медицинских наук доцент, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России, Институт педиатрии и репродуктивного здоровья, заместитель директора по научно-исследовательской работе;

Дорохин Александр Иванович – доктор медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Минздрава России, кафедра травматологии, ортопедии и смежных дисциплин, профессор;

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Зашита состоится «03» марта 2026 года в 15.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.0.008.02 в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России (195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, дом 8).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России и на сайте <http://dissovet.rniito.ru/>

Автореферат разослан «_____» 2025 г.

Ученый секретарь объединенного диссертационного совета 99.0.008.02
доктор медицинских наук



Денисов А.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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; Затравкина Т.Ю 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 (C. 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 предъявляют жалобы на 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 артреозрез подтаранного сустава и удлиняющая остеотомия пятоной 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 – артреозрез подтаранного сустава или удлиняющая остеотомия пятоной кости. Нет критериев выбора метода артреозеза 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 плоскостопия у детей. 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 вариабельны. Из всех методов хирургической стабилизации при лечении детей с плоскостопием чаще всего используются различные варианты арthroэреза подтаранного сустава и остеотомии пятоной кости (M. De Pellegrin, D. Moharamzadeh 2021; M. Vergillos Luna et al. 2023). Показания к проведению каждого вида хирургического лечения являются схожими и выбор осуществляется на основании личных предпочтений хирурга. При этом, часть литературных источников демонстрирует хорошие результаты арthroэреза подтаранного сустава, другая часть – показывает высокую частоту осложнений после данного вмешательства. Несмотря на большое количество публикаций, посвященных выполнению арthroэреза подтаранного сустава, данные, определяющие выбор метода арthroэреза, 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 пятоной кости, установлено, что нет четких критериев выбора вида остеотомии, уровня остеотомии пятоной 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 дифференциированного 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 артреоза подтаранного сустава, определены возможные ошибки и осложнения при использовании имплантов и блокирующих винтов, определен оптимальный метод артреоза подтаранного сустава.

4. Выявлены корригирующие механизмы, характеризующие разные виды удлиняющих остеотомий пятоной 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 артреозом подтаранного сустава, различными вариантами остеотомий пятоной 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 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 электрофизиологическое 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 величину тыльного сгибания стопы. При оценке частоты встречаемости плоскостопия в детском возрасте был проведен анализ частотных характеристик исследуемых клинических параметров как в изолированном виде, так и в различных вариантах их 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 (gap-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 пятко-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. Различный механизм коррекции двух вариантов удлиняющей остеотомии пятконой кости позволил осуществить выбор вида удлиняющей остеотомии пятконой кости и обосновать выполнение двойной остеотомии пятконой кости. Анализ частоты переломов блокирующих винтов и периимплантного 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 на первом этапе заключалось в резекции тарзальных коалиций и добавочных фасеток подтаранного сустава (n=158). Для стабилизации суставов предплюсны использовались различные варианты артреэреза подтаранного сустава: подтаранные импланты (n=67), блокирующие винты в пятую кость (n=53) и в таранную кость (n=103); остеотомии пятой 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 артреэрез подтаранного сустава винтом в таранную кость, при удовлетворительной мобильности подтаранного сустава – остеотомия пятонной кости по Hintermann, при сниженной мобильности подтаранного сустава и удовлетворительной мобильности сустава Шопара – остеотомия пятонной кости по Evans, при сниженной мобильности суставов предплюсны и выраженных дегенеративных изменениях – артродезирующие вмешательства.

4. Удлиняющая остеотомия пятонной кости по Evans фиксирует подтаранный сустав в крайнем положении эверзии, что обуславливает необходимость выполнения двойной остеотомии пятонной кости – сочетание остеотомии Evans с медиализирующей остеотомией бугра пятонной кости.
5. Оптимальным видом артреэреза подтаранного сустава является артреэрез 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-пятонное 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 «Иновационные технологии в травматологии и ортопедии» (Хабаровск, 2019), Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Цивьянские 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 научометрической 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 и списка литературы, включающего 210 работ, из них 35 отечественных, 175 зарубежных авторов. Диссертационная работа содержит 249 рисунков и 67 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, освещены его научная новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения о реализации и апробации работы, объеме и структуре диссертации.

В первой главе в ходе изучения значительного количества современных литературных источников продемонстрированы наиболее спорные и малоизученные моменты. Отмечены сложности в разделении физиологических и патологических форм плоскостопия. Несмотря на существующую классификацию, выделяющую мобильные (физиологические) и ригидные (патологические) формы, у некоторого количества детей с мобильным плоскостопием имеется болевой синдром и функциональные нарушения. Помимо этого, показания к проведению хирургического лечения детей с плоскостопием являются размытыми и интерпретируются по-разному. Анализ данных литературы показал, что в настоящее время чаще всего для коррекции деформации стопы

используются две группы хирургических вмешательств – артреэрез подтаранного сустава и остеотомия пятоной кости. Несмотря на существенные различия в механизме коррекции, показания к каждому методу коррекции являются схожими и выбор осуществляется на основании личных предпочтений хирурга. Кроме того, механизмы коррекции деформации стопы, а также возможные ошибки и осложнения после использования различных методов стабилизации суставов предплосны изучены недостаточно. Сложности в оценке функционального статуса стопы, отсутствие единых подходов в определении показаний к хирургическому лечению и выбора метода коррекции деформации стопы обосновали актуальность данного исследования.

Во второй главе представлены материалы и методы диссертационного исследования, а также схемы проведения сравнительных исследований. Для определения минимального количества наблюдений в каждой группе исследования был проведен предварительный расчет размера выборки при установленном пороговом значении ошибки I рода 5% (таблица 1).

Таблица 1 – Определение минимального размера выборки при разной мощности и проведении двустороннего теста 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 |

Настоящая работа состояла из двух частей. Первая часть была посвящена оценке анатомо-функциональных параметров стоп у детей с плоскостопием. Вторая часть – оценке методов хирургического лечения

детей с ригидным плоскостопием.

Для оценки встречаемости плоскостопия было 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. Пациенты с мобильным, ригидным плоскостопием и с плоскостопием в сочетании с ретракцией трехглавой мышцы голени находились на стационарном и амбулаторном наблюдении и лечении в НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Туннера. Схема распределения пациентов, участвовавших в исследовании, приведена на рисунке 1.

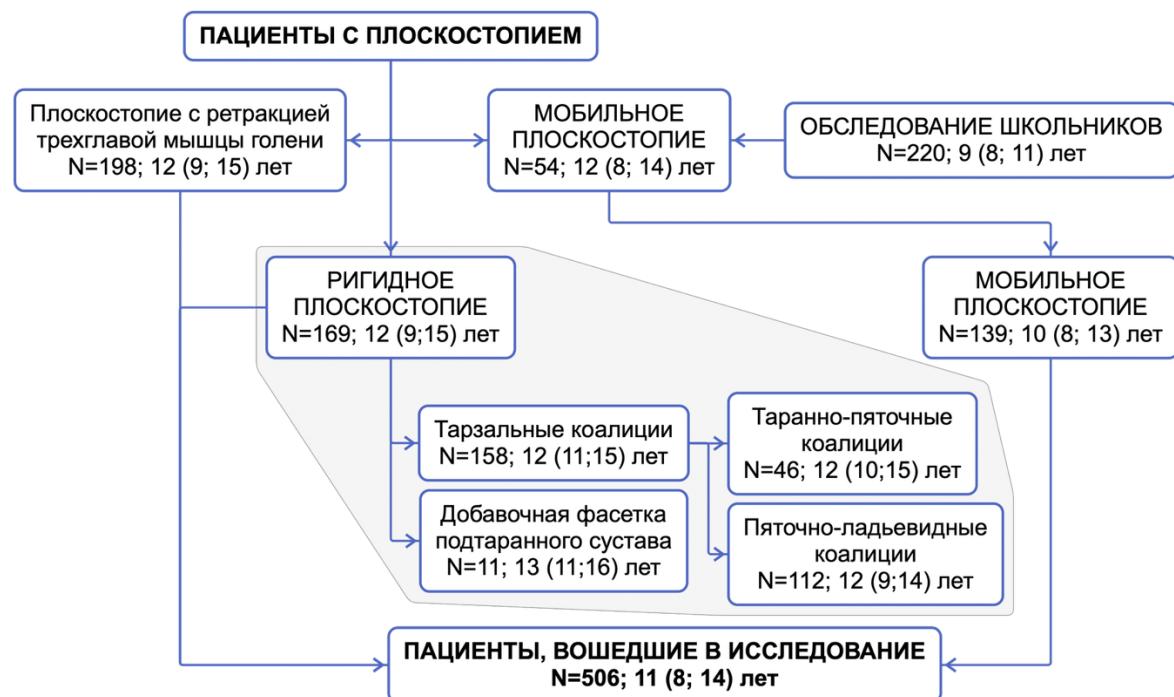


Рисунок 1. Схематичное изображение групп пациентов, участвовавших в исследовании.

Вторая часть исследования состояла из двух этапов. На первом этапе выполнялись вмешательства, направленные на увеличение мобильности суставов предплюсны – резекции тарзальных коалиций, добавочных фасеток подтаранного сустава. Второй этап заключался в выполнении стабилизирующих вмешательств на суставах предплюсны. Под

стабилизацией суставов предплюсны подразумевалось хирургическое лечение, заключающееся в использовании разных методик артреозеза подтаранного сустава и остеотомий пятоной кости. Выбор метода стабилизации суставов предплюсны был обусловлен хронологическим принципом: артреозез подтаранного сустава имплантом выполнялся с 2011 по 2014 год, артреозез подтаранного сустава винтом в пятоную кость выполнялся с 2014 по 2017 год, артреозез подтаранного сустава винтом в таранную кость выполнялся с 2018 года. Удлиняющая остеотомия пятоной кости по Evans выполнялась с 2011 по 2022 год, удлиняющая остеотомия пятоной кости по Hintermann выполнялась с 2021 года. Состав групп исследования второго этапа второй части исследования изображен на рисунке 2.

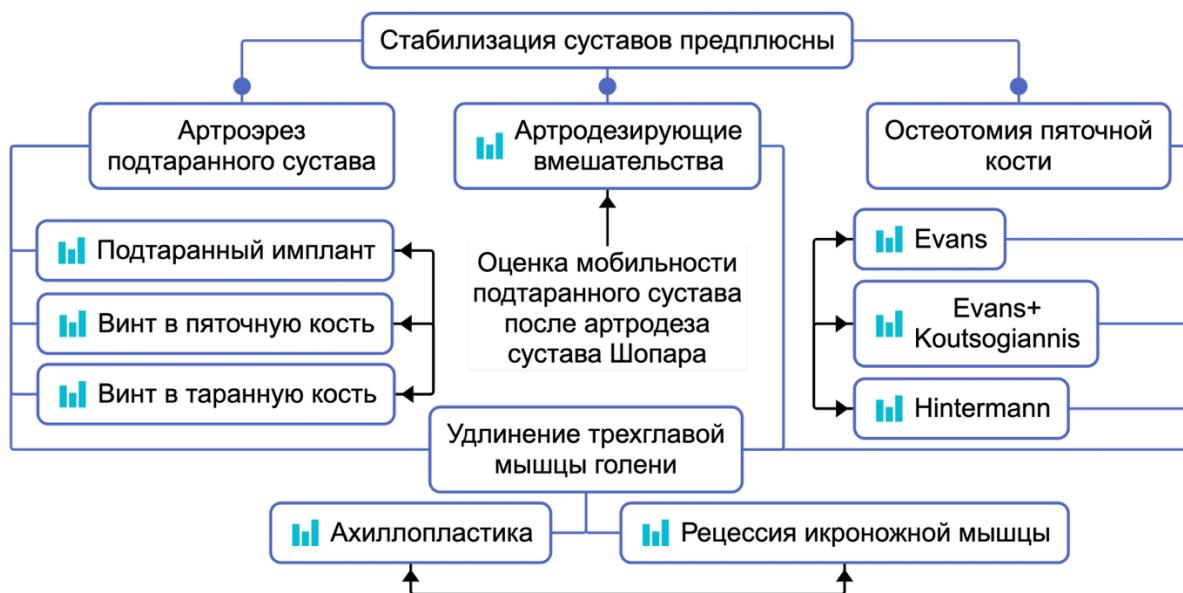


Рисунок 2. Схема проведения 2 этапа II части исследования. Стрелками отмечены сравнительные исследования.

В ходе диссертационного исследования были использованы различные методы для оценки анатомо-функциональных параметров стоп. Клиническая оценка стоп заключалась в определении степени деформации стопы и мобильности суставов предплюсны. Рентгенологическое исследование включало качественный анализ рентгенограмм и томограмм, а также рентгенометрическую оценку величины деформации.

Биомеханическое исследование состояло в проведении динамометрии трехглавой мышцы голени, поверхностной электромиографии и анализе походки. Ультрасонография мышц проводилась для оценки анатомических особенностей трехглавой мышцы голени. Также оценка формы стопы проводилась с использованием плантографии. Для оценки жалоб был использован валидированный Оксфордский опросник состояния стопы и голеностопного сустава для детей (OxAFQ-C). Схема используемых методов исследования приведена на рисунке 3.



Рисунок 3. Схема обследования пациентов, участвовавших в диссертационном исследовании.

Статистический анализ полученных данных с использованием методов описательной и аналитической статистики проводился в программном комплексе *Jamovi v.2.7*.

Третья глава посвящена клиническому и инструментальному обследованию пациентов с плоскостопием. На основании исследований третьей главы были решены 1, 2, 3 задачи исследования. Для определения

частоты встречаемости разных клинических проявлений плоскостопия в рамках амбулаторного приема и кросс-секционного исследования для постановки диагноза «плоскостопие» были взяты наиболее часто используемые в клинической практике критерии, пороговые значения которых были отобраны из разных литературных источников: вальгус заднего отдела $>15^\circ$, и/ или клинический угол свода (угол Dahle) $<130^\circ$, и/ или индекс Фридланда <27 . Варианты сочетаний клинических признаков плоскостопия изображены на диаграмме UpSet (рисунок 4).

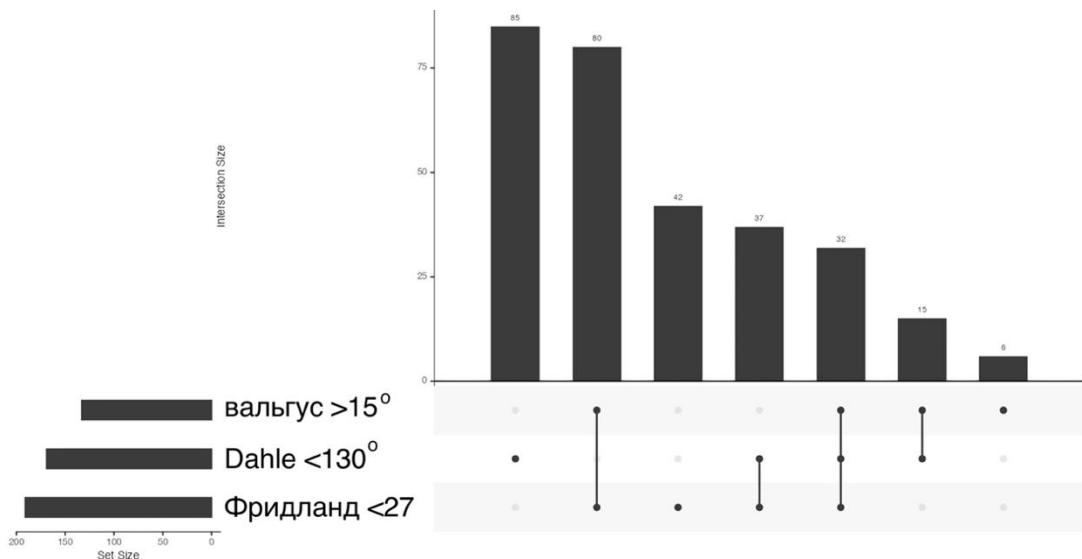


Рисунок 4. Диаграмма UpSet сочетаний исследуемых клинических параметров плоскостопия у детей (N=297).

Полученные данные позволили заключить, что сочетание всех используемых критериев составляло лишь 10,6%. 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%. Полученные данные не позволили выявить единственный унифицированный критерий, характеризующий степень деформации стопы и сочетающийся со всеми используемыми критериями.

Оценка мобильности суставов предплюсны проводилась с использованием известных тестов мобильности (оценка пассивной

инверзии и эверзии стопы, тест «вставания на цыпочки», тест Jack). Помимо этого, были разработаны новые клинические тесты и определены основные показатели их диагностической значимости:

- определение пяточно-ладьевидной мобильности (патент РФ на изобретение №2606336, 10.01.2017) – чувствительность 96,4%; специфичность 85,7%; каппа Коэна 0,96;
- определение трансляции пяточной кости (заявка на изобретение №20215126454, 24.09.2025) – чувствительность 73,9%; специфичность 87,1%; каппа Коэна 0,79;
- определение мобильности подтаранного сустава на основании оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы (заявка на изобретение №20215126453, 24.09.2025) – чувствительность 71,4%; специфичность 87,8%; каппа Коэна 0,80;
- мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава (заявка на изобретение №20215126455, 24.09.2025) – каппа Коэна 0,87;
- оценка тыльного сгибания стопы для определения укорочения ахиллова сухожилия – тыльное сгибание стопы с пассивным разгибанием I пальца (патент РФ на изобретение №2669863, 16.10.2018) – чувствительность 96,1%; специфичность 94,2%; ICC 0,92;

Кроме того, для детальной оценки положения подтаранного сустава разработаны новые рентгенометрические критерии:

- таранно-пяточное соотношение, которое показывает степень перекрытия тенью переднего отростка пяточной кости тени головки таранной кости (патент РФ на изобретение №2806739, 03.11.2023);
- угол тарзального синуса, который характеризует размер тарзального синуса (патент РФ на изобретение №2801607, 11.08.2023).

Для определения функциональных нарушений был разработан новый клинический тест, при помощи которого моделируется изменение положения стопы в одноопорную фазу шага, при которой осуществляется

пропульсия – тест «вставания на цыпочки на одной ноге» (патент РФ на изобретение №2748189, 20.05.2021). Результаты исследований пациентов с плоскостопием показали, что у 33% детей с плоскостопием без ограничений мобильности суставов предплюсны отмечался положительный результат теста «вставания на цыпочки на одной ноге». При сопоставлении результатов нового теста и положения заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага при анализе походки было отмечено, что положительный результат теста увеличивает риск вальгусного положения заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага в 12 раз ($\chi^2=47,4$; $R^2_{McF}=0,98$; $df=3$; $OP=12,000$; $p>0,001$). Также было выявлено, что увеличение вальгуса заднего отдела стопы более 15° повышает риски положительного результата теста «вставания на цыпочки на одной ноге» в 5 раз ($\chi^2=60,8$; $R^2_{McF}=0,96$; $df=3$; $p>0,001$; $OP=4,95$). Таким образом, положительный результат теста «вставания на цыпочки на одной ноге» позволяет с высокой долей вероятности предсказать вальгусное положение заднего отдела стопы в конце одноопорной фазы шага, что характеризует невозможность блокирования суставов предплюсны и потерю пропульсивной силы.

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 (n=260). В результате проведенного исследования выявлено, что клинические и рентгенологические критерии плоскостопия имеют умеренные и слабые корреляционные связи. Полученные результаты не позволяют полностью экстраполировать данные клинической оценки формы стопы на рентгенологическую картину.

На основании динамического наблюдения за пациентами с

плоскостопием, были отмечены разнонаправленные тренды в группе пациентов с мобильным плоскостопием, что позволило предположить неоднородность этой группы. Данные клинических параметров стоп у пациентов с плоскостопием были подвергнуты кластерному анализу методом k-средних ($n=265$). График кластеризации приведен на рисунке 5.

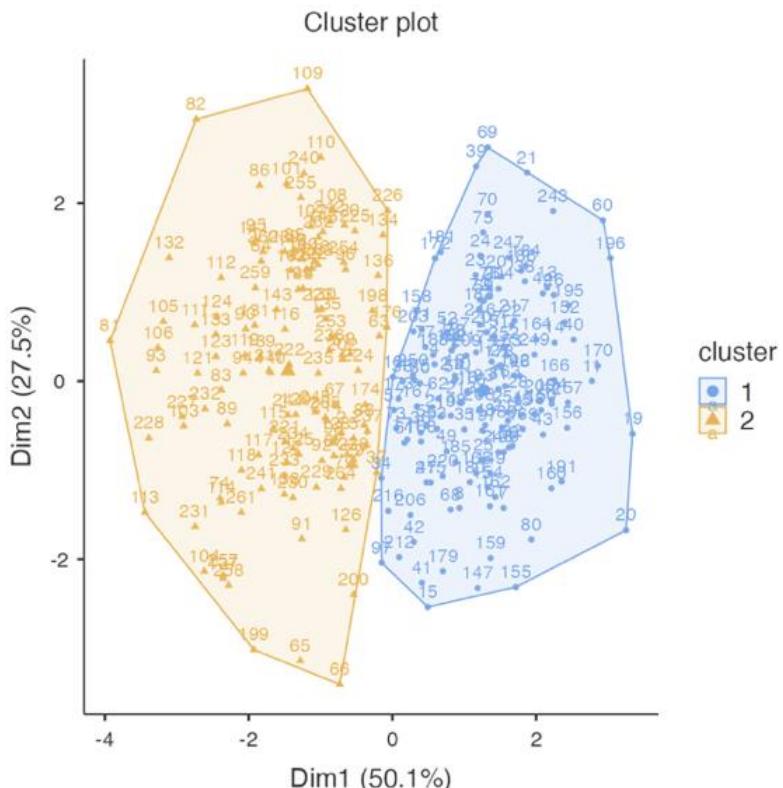


Рисунок 5. График разброса значений с выделенными кластерами (k-means).

Полученная модель позволила объяснить 77,6% дисперсии. Между кластерами были отмечены статистически значимые различия по большинству анатомо-функциональных параметров стоп. Указанные данные позволили усовершенствовать имеющуюся классификацию плоскостопия, разделяющую плоскостопие на два вида: ригидное и мобильное плоскостопие. В новой классификации плоскостопия выделяются 3 вида:

1. Мобильное плоскостопие (нормальная мобильность суставов предплюсны).

2. Анатомически ригидное плоскостопие (сниженная мобильность суставов предплюсны вследствие нарушения анатомии суставов предплюсны).
3. Функционально ригидное плоскостопие (нормальная мобильность суставов предплюсны, но отсутствие возможности блокирования суставов предплюсны в одноопорную фазу шага).

Четвертая глава посвящена анализу результатов хирургических вмешательств, направленных на увеличение мобильности суставов предплюсны. Данные, приведенные в четвертой главе, позволили решить задачу 4. Для этого проведен анализ результатов хирургического лечения детей с пяточно-ладьевидными ($n=112$), таранно-пяточными коалициями ($n=46$), а также добавочными фасетками подтаранного сустава ($n=11$). Для снижения количества ошибок и осложнений при хирургическом лечении, были разработаны новые способы выполнения резекций пяточно-ладьевидных коалиций (патент РФ на изобретение №2827853, 02.10.2024), а также составлен алгоритм выполнения резекции таранно-пяточных коалиций. На основании анализа новых разработанных способов лечения было выявлено, что риск повреждения костей предплюсны при резекции пяточно-ладьевидной коалиции с использованием новых способов резекции был в 6,46 раз ниже (модель лог-линейной регрессии, $R^2_{McF}=0,92$; $p=0,014$), а риск неполной резекции таранно-пяточной коалиции был в 5,92 раза ниже по сравнению с известными способами (модель лог-линейной регрессии, $R^2_{McF}=0,94$; $p=0,042$). Для лучшей визуализации в операционной ране подтаранного сустава после резекции таранно-пяточных коалиций был разработан ретрактор для осуществления доступа к костям, который фиксируется в таранной и пятоной кости спицами. Данная особенность позволила получить хорошую визуализацию подтаранного сустава и зоны конкремценции таранной и пятоной кости, а также снизить вероятность попадания в зону выполнения резекции

сухожилий сгибателей пальцев, задней большеберцовой мышцы и нейроваскулярных структур, что снизило риск повреждения указанных анатомических структур (рисунок 6).

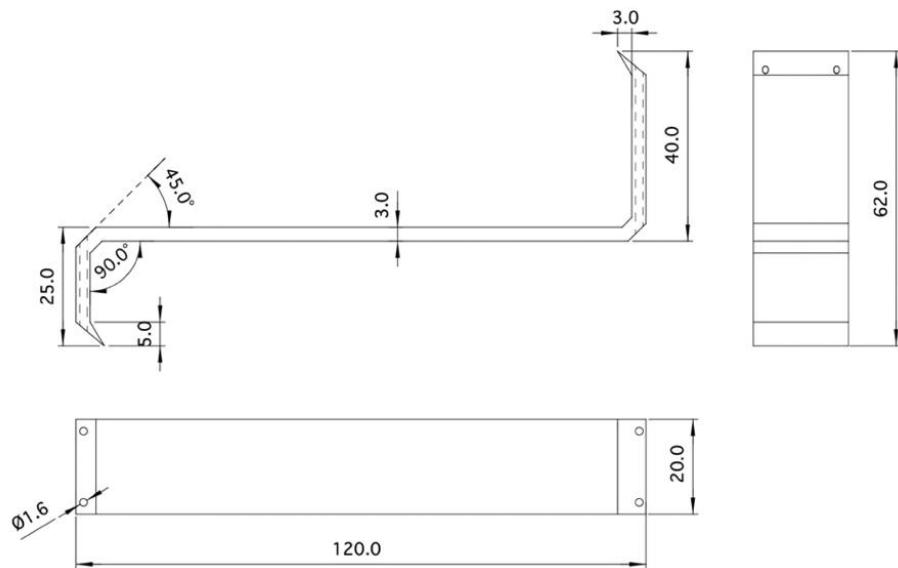


Рисунок 6. Ретрактор тканей для осуществления доступа к костям (патент РФ на изобретение №2806738, 03.11.2023).

Для оценки различных способов удлинения трехглавой мышцы голени был проведен сравнительный анализ двух методик – перкутанной ахиллопластики ($n=110$) и рецессии медиальной головки икроножной мышцы ($n=52$). Было отмечено, что тыльное сгибание стопы после выполнения перкутанной ахиллопластики имеет тенденцию к снижению с течением времени (рисунок 7).

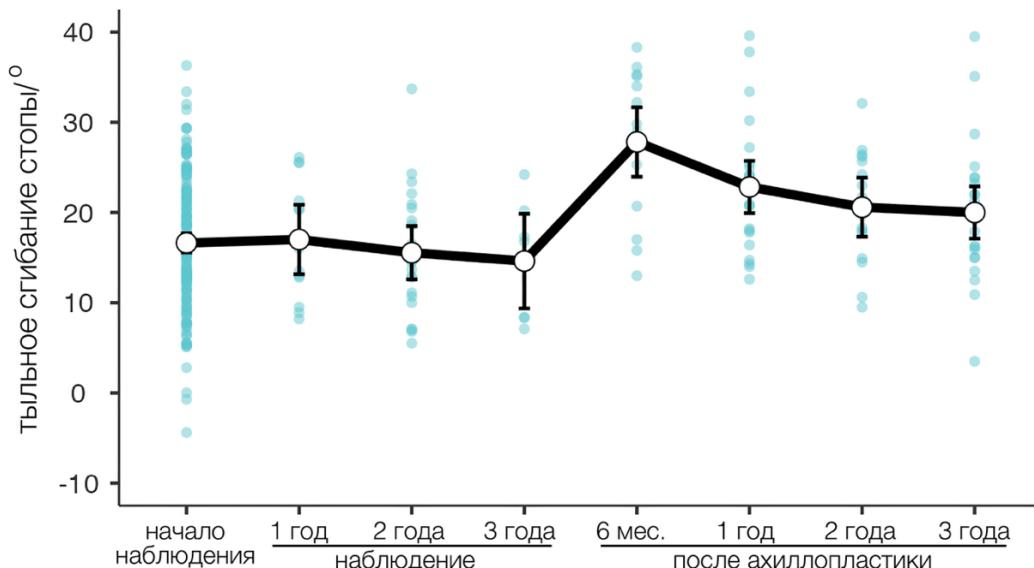


Рисунок 7. Динамика изменений величины тыльного сгибания стоп на разных сроках наблюдения до и после реконструктивных вмешательств в сочетании с ахиллопластикой (n=110).

Через 3 года после выполнения перкутанной ахиллопластики величина тыльного сгибания стопы приближалась к пограничным с ретракцией мышцы значениям: тыльное сгибание стопы до лечения – 17,20 (15,90; 22,20)°, через 3 года после лечения – 19,30 (16,05; 23,55)°. С другой стороны, несмотря на более низкий потенциал коррекции тыльного сгибания стопы после рецессии медиальной головки икроножной мышцы (около 15°), было отмечено, что величина тыльного сгибания стопы с течением времени не уменьшается (DSCF post-hoc тест; сроки сравнения 6 месяцев – 3 года после операции; p=0,642).

Пятая глава отражает результаты сравнительного анализа различных методик артреозеза подтаранного сустава с использованием подтаранных имплантов (n=67), блокирующих винтов в таранную (n=103) и пятую кость (n=53). Оценка результатов проводилась на сроках до 3 лет после артреозеза подтаранного сустава и до 4 лет после удаления подтаранных имплантов и винтов. Было отмечено, что максимальным потенциалом коррекции деформации обладает артреозез с использованием

подтаранного имплантата, чуть меньшим потенциалом коррекции обладал артреэрэз с использованием винта в таранной кости и самым низким потенциалом – артреэрэз с использованием винта в пятонной кости (тест Kruskal-Wallis; $p<0,05$). Значимых различий в изменении формы стопы при наблюдении после удаления подтаранных имплантатов и винтов отмечено не было. Однако, отмечалось более частое возникновение болей в области тарзального синуса при использовании подтаранных имплантатов ($OP=27,00$) по сравнению с винтами в пятонной ($OP=7,00$) и таранной кости ($OP=12,00$). Также риск развития перонеального спазма при использовании подтаранных имплантатов был примерно в 6 раз выше по сравнению с винтом в таранной ($OP=3,63$) и пятонной кости ($OP=3,59$). График частоты встречаемости болей в области тарзального синуса и перонеального спазма изображен на рисунке 8.

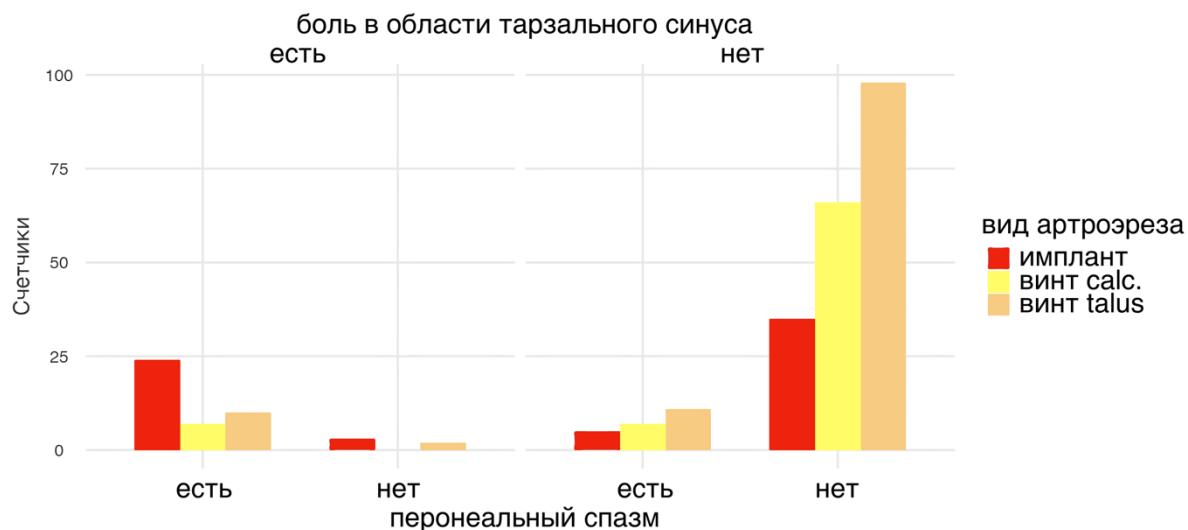


Рисунок 8. График распределения пациентов по перонеальному спазму, болям в области тарзального синуса и виду артреэреза подтаранного сустава ($n=223$).

Кроме того, было отмечено, что наибольшими возможностями регулирования коррекции деформации обладает винт в таранной кости (рисунок 9).

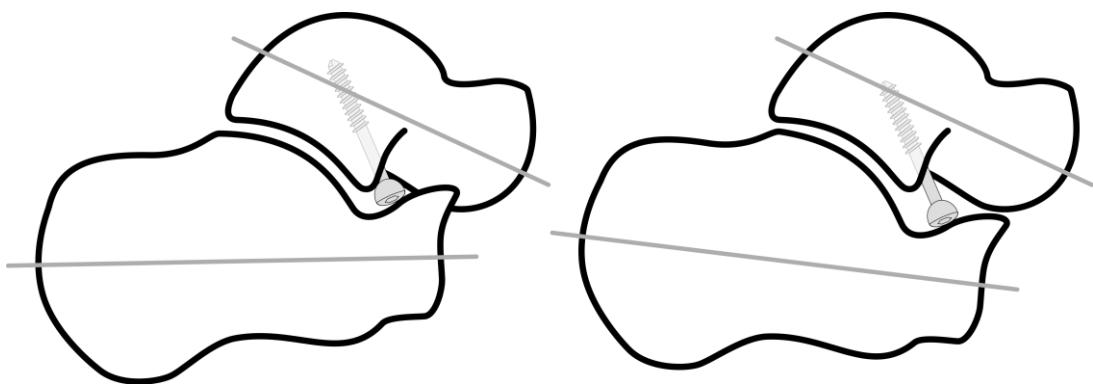


Рисунок 9. Схематичное изображение возможности регулировки величины коррекции деформации при использовании артреэреза винтом в таранную кость.

При использовании данного варианта артреэреза подтаранного сустава величина коррекции деформации определяется глубиной имплантации винта. Напротив, величина коррекции деформации при использовании подтаранного имплантата зависит от его размера, что требует замены имплантата при недостаточной или избыточной коррекции деформации, а при использовании винта в пятую кость – от точки его установки в пятую кость, а не от глубины имплантации. Исходя из полученных данных, было определено, что оптимальным вариантом артреэреза подтаранного сустава является блокирующий винт в таранной кости. В результате оценки рентгенометрических показателей, а также анализа случаев переломов блокирующих винтов и периимплантного лизиса установлено, что наибольший корригирующий потенциал и наименьший риск перелома металлоконструкции и развития периимплантного лизиса имеется при установке винта в таранную кость по следующим параметрам: установка близко к апексу латерального отростка таранной кости, ориентация винта на середину блока таранной кости в сагиттальной плоскости, вертикальное расположение винта во фронтальной плоскости (рисунок 10).

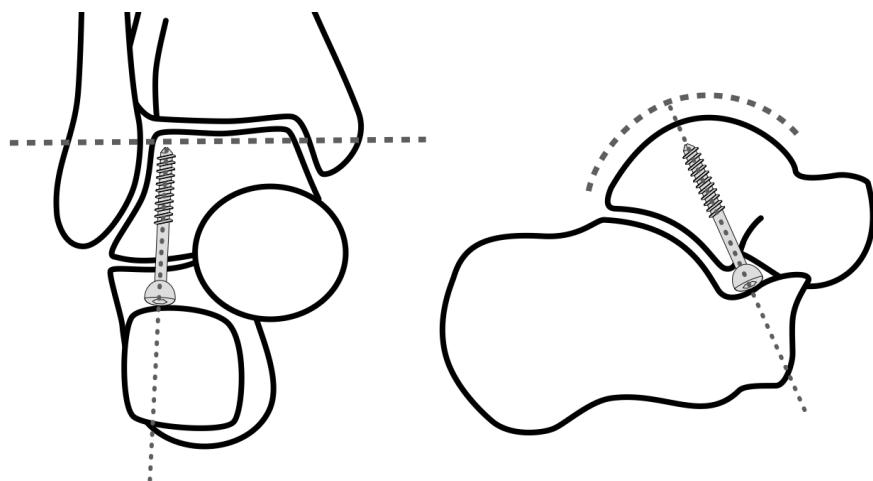


Рисунок 10. Схема корректной установки винта в таранную кость.

Сравнительный анализ различных вариантов артреэреза подтаранного сустава, а также оценка ошибок и осложнений после выполнения различных вариантов артреэреза подтаранного сустава легли в основу решения задачи 5 и 6.

Шестая глава посвящена анализу результатов лечения детей с плоскостопием с использованием вмешательств на костях среднего и заднего отделов стопы. Для этого была проведена оценка результатов после остеотомии пятоной кости по Evans (N=46), Hintermann (N=41), а также артродезирующих вмешательств (n=18). Результаты исследований, приведенных в главе 6, легли в основу решения задач 5 и 6.

Анализ результатов коррекции после остеотомии пятоной кости по Evans позволил определить, что коррекция положения ладьевидной кости обусловлена лигаментотаксисом пяточно-ладьевидной связки, что определяет необходимость сечения пятоной кости между передней и медиальной фасетками подтаранного сустава. Для этого был разработан способ определения уровня остеотомии пятоной кости путем визуализации передней границы sustentaculum tali на передне-задних рентгенограммах (патент РФ на изобретение №2676665, 09.01.2019).

Оценка динамики клинических и рентгенометрических показателей позволила определить, что удлиняющая остеотомия пятоной кости по

Evans способствует коррекции уплощения свода стопы, однако приводит к незначительному увеличению вальгуса заднего отдела стопы и угла Kite. Анализ полученных данных показал, что при операции Evans подтаранный сустав занимает крайнее положение эверзии (вальгус заднего отдела стопы через 3 года после операции имел тенденцию к увеличению; DSCF post-hoc тест на временном промежутке до операции – 3 года после операции; $p<0,05$). Выявленная закономерность позволила объяснить часто встречающиеся после операции Evans особенности – плантарный подвывих кубовидной кости и тыльное смещение переднего отростка пятоной кости. Полученные данные дали возможность обосновать выбор остеотомии по Evans у пациентов со сниженной мобильностью подтаранного сустава, поскольку ограничение мобильности в подтаранном суставе препятствует усугублению эверзии, а также выполнение двойной остеотомии пятоной кости (остеотомия по Evans в сочетании с остеотомией по Koutsogiannis) для коррекции исходного или увеличенного после остеотомии по Evans вальгуса заднего отдела.

Оценка результатов лечения после остеотомии пятоной кости по Hintermann показала, что данный вид удлиняющей остеотомии пятоной кости позволяет корректировать все элементы деформации стопы, в том числе и вальгус заднего отдела. Исходя из этого, были установлены различные биомеханические особенности, обуславливающие коррекцию деформации: при операции Evans – это лигаментотаксис пятоно-ладьевидной связки, при операции Hintermann – дезинтеграция фасеток подтаранного сустава. Полученные данные легли в основу дифференцированного выбора уровня остеотомии пятоной кости при коррекции плоскостопия.

У пациентов после выполнения артродезирующих вмешательств на уровне сустава Шопара (артродез таранно-ладьевидного сустава, артродез сустава Шопара) был проведен анализ резидуальной мобильности

подтаранного сустава по функциональным рентгенограммам с инверзией и эверзией стопы. Полученные данные продемонстрировали частичное сохранение мобильности подтаранного сустава после выполнения артродеза сустава Шопара (тест Brunner-Munzel; $p<0,05$). Оценка мобильности суставов предплюсны после выполнения артродеза сустава Шопара позволила установить, что сохраняющаяся мобильность подтаранного сустава при корректной адаптации артродеза сустава Шопара обусловлена компенсаторной гипермобильностью ладьевидно-клиновидных и кубовидно-плюсневых суставов. Эта биомеханическая особенность обуславливает снижение вероятности развития дегенеративных изменений в голеностопном суставе. Исходя из полученных данных, артродезирующие вмешательства при коррекции деформаций стоп обоснованы не только при выраженных дегенеративных изменениях сустава Шопара, но и при отсутствии мобильности таранно-ладьевидного сустава, обуславливающей неполную коррекцию деформации стопы.

Седьмая глава отражает результаты исследований, обуславливающих выбор методов стабилизации суставов предплюсны. Полученные данные наряду с данными, изложенными в главах 5 и 6, позволили решить задачи 5 и 6.

Для определения оптимального возраста хирургического лечения детей с плоскостопием создана регрессионная модель с основными клинико-рентгенологическими параметрами стоп и зависимой переменной «возраст» (рисунок 11).

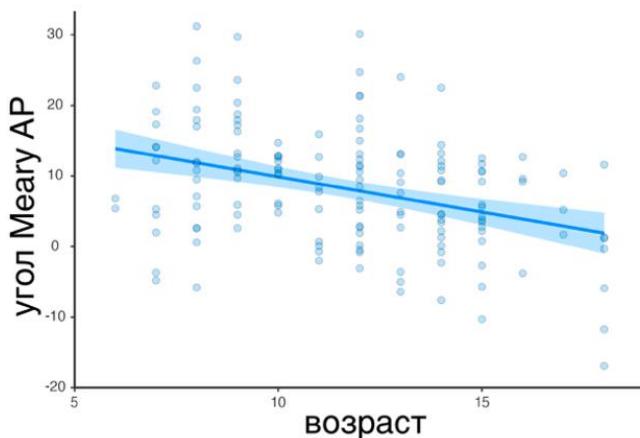


Рисунок 11. Линейная регрессионная между передне-задним углом Meary и возрастом пациента при артреозезе подтаранного сустава винтом.

По значимым параметрам отмечалась прямопропорциональная связь – увеличение степени коррекции с увеличением возраста проведения хирургического лечения ($R=0,699$; $R^2=0,489$; $p<0,001$). Исходя из данных модели, было определено, что хирургическое лечение детей с плоскостопием оптимально начинать с 13 лет.

При анализе жалоб у пациентов с ригидным плоскостопием было установлено, что болевой синдром у пациентов с ригидным плоскостопием до лечения локализовался по подошвенной поверхности стопы (73,6%) и был обусловлен преимущественно нарушением пропульсивной функции и травматизацией вследствие этого подошвенного апоневроза. С другой стороны, после проведенного лечения 44,2% пациентов с анатомически ригидным плоскостопием и 18,8% пациентов с функционально ригидным плоскостопием предъявляли жалобы на боли в передних отделах голеностопного сустава. Кроме того, у пациентов с избыточной коррекцией деформации стопы отмечались рентгенологические признаки переднего импинджмента голеностопного сустава.

Для определения вероятности переднего импинджмента голеностопного сустава после коррекции деформации стопы был проведен анализ величины тыльного сгибания стопы в одноопорную фазу шага, при

которой нагрузка всей массы тела концентрируется на опорной конечности. В результате исследования было выявлено, что максимальное тыльное сгибание стопы в одноопорной фазе шага составляет $17,7^\circ$. Величина тыльного сгибания стопы определяется тыльным сгибанием в голеностопном суставе, а также периталлярным движением (движением на уровне подтаранного сустава и сустава Шопара). Коррекция планово-вальгусной деформации стопы предполагает ограничение мобильности подтаранного сустава, что приводит к ограничению периталлярной мобильности. Из-за этого необходимая величина тыльного сгибания стопы в одноопорной фазе шага достигается путем увеличения мобильности в голеностопном суставе, при этом избыточное тыльное сгибание таранной кости приводит к развитию импинджмента между передним краем большеберцовой кости и тыльной частью шейки таранной кости.

При оценке мобильности подтаранного сустава после удаления имплантов было установлено, что после удаления подтаранных имплантов сохраняется ограничение мобильности подтаранного сустава по сравнению с винтами ($13,5^\circ$ после подтаранных имплантов по сравнению с пациентами с использованием стопорных винтов – $32,6-27,8^\circ$; $p<0,05$; тест Brunner-Munzel). При математическом анализе рентгенометрических критериев у пациентов после хирургического лечения было выявлено, что риск переднего импинджмента голеностопного сустава повышается при увеличении большеберцово-таранного угла более 70° . Построение регрессионной модели между значениями большеберцово-таранного угла и таранно-пяточного соотношения позволило рассчитать, что пороговое значение большеберцово-таранного угла для развития переднего импинджмента голеностопного сустава соответствует таранно-пяточному соотношению менее 30% (рисунок 12).

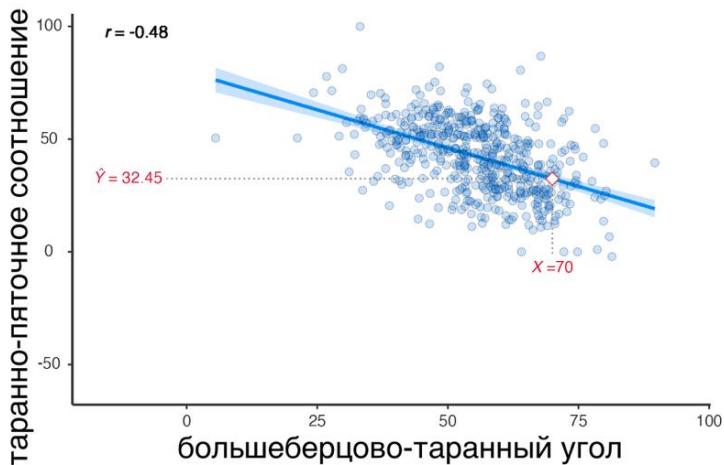


Рисунок 12. График регрессионной модели между таранно-пяточным соотношением и большеберцово-таранным углом ($n=321$).

Использование таранно-пяточного соотношения позволило точно во время операции определять величину необходимой коррекции деформации стопы путем выполнения боковой рентгенограммы стопы с максимальным эверзионным положением подтаранного сустава (пронацией стопы).

Исходя из показателей потенциала коррекции деформации стопы при помощи разных вариантов артреоза подтаранного сустава, а также частоты осложнений было определено, что оптимальным методом артреоза подтаранного сустава является использование винта в таранной кости. Корректная установка винта по параметрам, определенным в рамках исследований главы 5, возможна при удовлетворительной мобильности подтаранного сустава, которая оценивается предложенным клиническим тестом «мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава» (заявка на изобретение №20215126455, 24.09.2025). Полученные данные оценки мобильности суставов предплюсны легли в основу алгоритма выбора тактики 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 метода хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием приведен на рисунке 13.

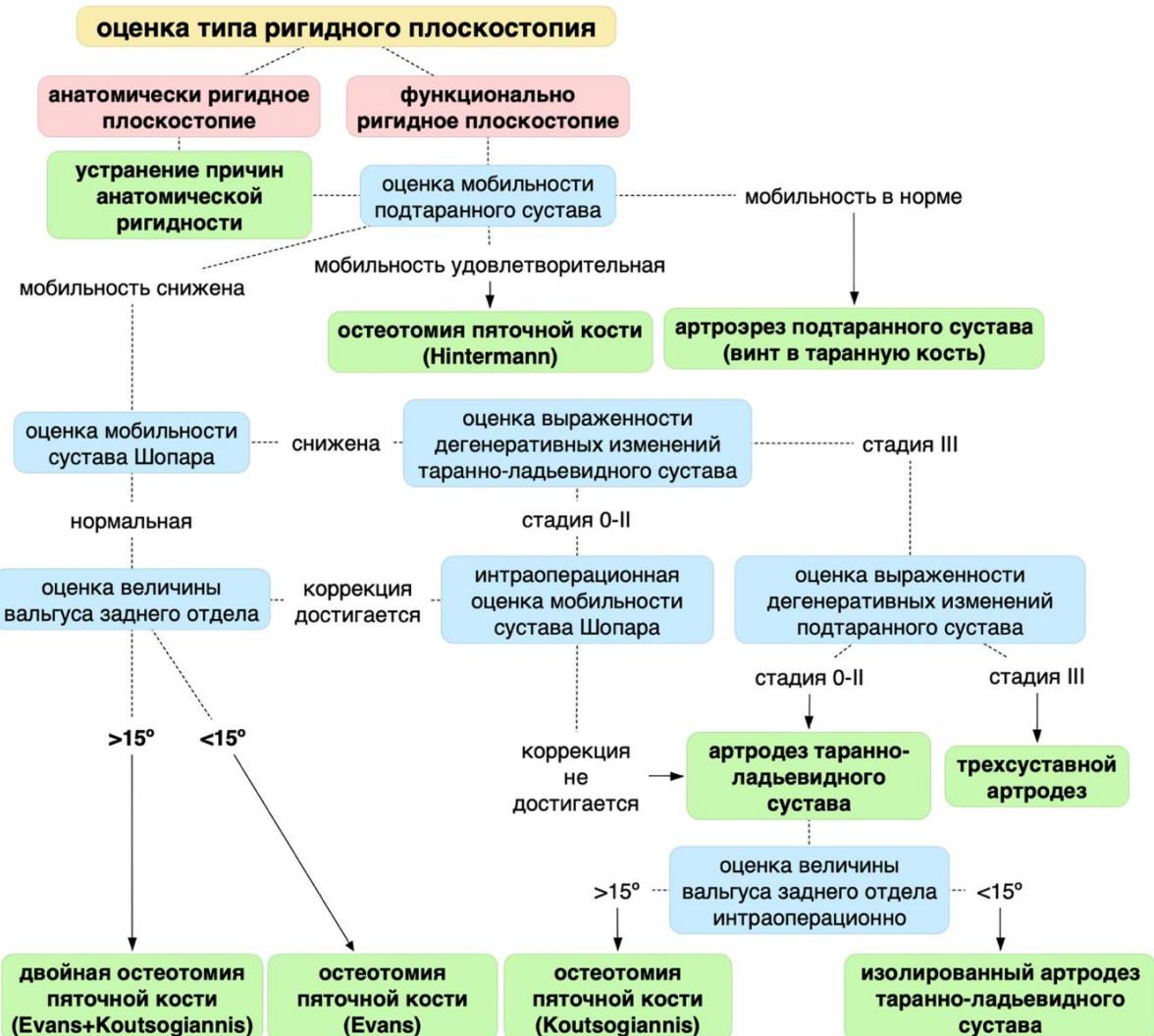


Рисунок 13. Алгоритм хирургического лечения детей с ригидным плоскостопием.

При анатомически ригидном плоскостопии 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 артреэрз подтаранного сустава винтом в таранную кость, поскольку из всех видов артреэреза этот метод имеет достаточный потенциал коррекции и возможность регулировать степень коррекции. Если мобильность подтаранного сустава удовлетворительная, то есть корректная установка винта в таранную кость невозможна, показана остеотомия пятонной кости по Hintermann. Удовлетворительная мобильность подтаранного сустава означает, что клинически мобильность можно определить с помощью предложенных тестов («тест оценки изменения размеров тарзального синуса при инверзии и эверзии стопы», «тест оценки трансляции пятонной кости», оценка пассивной инверзии/ эверзии стопы), но положение максимальной инверзии (нулевой дивергенции) не достигается (тест «мануальная оценка инверзионного положения подтаранного сустава»). При сниженной или отсутствии мобильности подтаранного сустава выполняется 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 пятонной кости по Evans. В случае избыточного вальгуса заднего отдела стопы (более 15°) выполняется двойная остеотомия пятонной кости. При сниженной мобильности сустава Шопара производится оценка дегенеративных изменений суставов предплюсны по J.H. Kellgren и J.S. Lawrence. При начальных стадиях (0 – II) дегенеративных изменений выполняется интраоперационная оценка мобильности сустава Шопара (возможность коррекции положения ладьевидной кости в нейтральное положение или положение гиперкоррекции на рентгенограммах с инверзией стопы). При

возможности выведения ладьевидной кости в положение коррекции выполняется или операция Evans, или двойная остеотомия пятончной кости в зависимости от исходной величины вальгуса заднего отдела. При невозможности достижения нейтрального положения в таранно-ладьевидном суставе производится изолированный артродез таранно-ладьевидного сустава или в комбинации с медиализирующей остеотомией бугра пятончной 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 подошвенного сгибания стопы до нейтрального положения – выполняется ахиллопластика.

В заключении подведены общие итоги проведенной работы, представлены сведения по решению всех шести задач диссертационного исследования и кратко обсуждены полученные результаты.

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 артреэрз 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 артреэрзом 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 арthroреза 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 спереди 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 импинджмента голеностопного сустава и развития дегенеративных изменений в переднем отделе голеностопного сустава.

Печатные работы по теме диссертационного исследования

1. Сапоговский А.В., Кенис В.М., Хусаинов Р.Х., / **Диагностическое значение рентгенологических признаков тарзальных коалиций // Травматология и ортопедия России. – 2014. – №1(71). – С. 86-91.**

2. Кенис В.М., Сапоговский А.В., Хусаинов Р.Х., / **Тарзальные коалиции у детей с ДЦП: клинические наблюдения и тактика лечения // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – Т.2, №1. – С. 13-17.**

3. Кенис В.М., Лапкин Ю.А., Хусаинов Р.Х., Сапоговский А.В. / **Мобильное плоскостопие у детей (обзор литературы) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – Т.2, №2. – С. 44-54.**

4. Сапоговский А.В., Кенис В.М. / **Клиническая диагностика ригидных форм плано-вальгусных деформаций стоп у детей // Травматология и ортопедия России. – 2015. – №4(78). – С. 46-51.**

5. Сапоговский А.В., Хусаинов Р.Х., Кенис В.М. / **Консервативное лечение пациентов с тарзальными коалициями // Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова. – 2015. – Т.22, №1. – С. 54-56.**

6. Сапоговский А.В. / Травмы стоп у пациентов с тарзальными коалициями // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2017. – Т.5, №2. – С. 22-25.
7. Кенис В.М., Димитриева А.Ю., Сапоговский А.В. / Взаимосвязь между порогом болевой чувствительности и жалобами на боль у детей с мобильным плоскостопием // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2019. – Т.98, №4. – С. 263-268.
8. Кенис В.М., Димитриева А.Ю., Сапоговский А.В. / Отношение врачей различных специальностей к проблеме плоскостопия // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им И.И. Мечникова. – 2019. – Т.11, №4. – С. 27-36.
9. Кенис В.М., Димитриева А.Ю., Сапоговский А.В. / Вариабельность частоты плоскостопия в зависимости от критериев диагностики и способа статистической обработки // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2019. – Т.7, №2. – С. 41-50.
10. Sapogovskiy A., Hassanein M.Y., Kenis V. / Lateral column lengthening revisited: a simple intraoperative approach to ensure a true extra-articular osteotomy // The journal of foot and ankle surgery – 2020. – 59(6). – Р. 1318-1321.
11. Димитриева А.Ю., Кенис В.М., Сапоговский А.В. / Плоскостопие или нет: Субъективное восприятие высоты свода стоп среди врачей-ортопедов // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2020. – Т.8, №2. – С. 179-184.
12. Сапоговский А.В., Бойко А.Е. / Взаимосвязь клинико-рентгенологических параметров стоп у детей с плоскостопием //

Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2020. – Т.8, №4. – С. 407-416.

13. Сапоговский А.В., Бойко А.Е., Рубцов А.В., Рубцова Н.О. / Элевация I плюсневой кости при артреэрезе подтаранного сустава у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2021. – Т.9, №3. – С. 297-306.

14. Димитриева А.Ю., Кенис В.М., Клычкова И.Ю., Сапоговский А.В., Кожевников В.В. / Результаты первого российского Дельфийского консенсуса по диагностике и лечения плоскостопия у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2023. – Т.11, №1. – С. 49-66.

15. Сапоговский А.В., Овечкина А.В., Абрамов И.А. Агранович О.Е., Шубина А.И., Будкевич Т.Г. / Плантография в диагностике плоскостопия у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2023. – Т.11, №1. – С. 67-74.

16. Сапоговский А.В. / Ретракция трицепса голени у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2024. – Т.12, №1. – С. 19-27.

17. Сапоговский А.В., Агранович О.Е., Кенис В.М., Трофимова С.И., Петрова Е.В. / Динамика тыльного сгибания стоп после перкутанной ахиллопластики при коррекции плоскостопия у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2024. – Т.12, №2. – С. 161-171.

18. Патент № 2606336 Российской Федерации, МПК A61B 5/11 (2006.01), A61B 6/00 (2006.01). Способ определения показаний к рентгенологическому исследованию при диагностике пятко-ладьевидной коалиции: № 2015143602: заявлено 12.10.2015: опубликовано 10.01.2017 / Кенис В.М., Сапоговский А.В.;

патентообладатель: ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

19. Патент № 2669863 Российская Федерация, МПК A61B 5/11 (2006.01). Способ определения укорочения ахиллова сухожилия при продольном плоскостопии: № 2018105998: заявлено 16.02.2018: опубликовано 16.10.2018 / Сапоговский А.В, Кенис В.М., Магерамов Э.К., Дмитриева А.Ю.; патентообладатель: ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

20. Патент № 2676665 Российская Федерация, МПК A61B 6/03 (2006.01). Способ определения уровня остеотомии пятонной кости при операции Эванса: № 2017105656: заявлено 20.02.2017: опубликовано 09.01.2019 / Кенис В.М., Сапоговский А.В.; патентообладатель: ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

21. Патент № 2748189 Российская Федерация, МПК A61B 5/103 (2006.01). Способ определения мобильности деформации при продольном плоскостопии у детей с гипермобильностью: № 2020116230: заявлено 18.05.2020: опубликовано 20.05.2021 / Дмитриева А.Ю., Кенис В.М., Сапоговский А.В.; патентообладатель: Дмитриева А.Ю.

22. Патент № 2774965 Российская Федерация, МПК A61B 6/02 (2006.01), A61B 5/107 (2006.01). Способ определения элевации I плюсневой кости на рентгенограммах при плоскостопии: № 2021124507: заявлено 16.08.2021: опубликовано 24.06.2022 / Сапоговский А.В., Кенис В.М.; патентообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

23. Патент № 2788104 Российская Федерация, МПК A61B 5/11 (2006.01), A63B 69/00 (2006.01). Способ оценки мобильности заднего отдела стопы при плоскостопии у детей: № 2021136046: заявлено 07.12.2021: опубликовано 16.01.2023 / Сапоговский А.В., Кенис В.М.; патентообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Тунера» Минздрава России.

24. Патент № 2801607 Российская Федерация, МПК A61B 5/107 (2006.01), A61B 6/02 (2006.01). Способ определения угла тарзального синуса стопы: № 2022110346: заявлено 15.04.2022: опубликовано 11.08.2023 / Сапоговский А.В., Кенис В.М.; патентообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Тунера» Минздрава России.

25. Патент № 2804913 Российская Федерация, МПК A61B 5/107 (2006.01) A61B 6/02 (2006.01). Способ определения стабильности голеностопного сустава с помощью функциональной ультрасонографии: № 2022129528: заявлено 14.11.2022: опубликовано 09.10.2023 / Сапоговский А.В., Кенис В.М.; патентообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Тунера» Минздрава России.

26. Патент № 2806738 Российская Федерация, МПК A61B 17/02 (2006.01). Ретрактор для осуществления доступа к костям: № 2023100186: заявлено 09.01.2023: опубликовано 03.11.2023 / Сапоговский А.В., Кенис В.М.; патентообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Тунера» Минздрава России.

27. Патент № 2806739 Российская Федерация, МПК A61B 5/107 (2006.01), A61B 6/02 (2006.01). Способ определения соотношений в подтаранном суставе при плоскостопии: № 2022110347: заявлено

**15.04.2022: опубликовано 03.11.2023 / Сапоговский А.В., Кенис В.М.;
патентообладатель: ФГБУ «Национальный медицинский
исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И.
Турнера» Минздрава России.**

**28. Патент № 2827853 Российской Федерации, МПК A61B 17/56
(2006.01). Способ резекции пяточно-ладьевидной коалиции: №
2023126822: заявлено 18.10.2023: опубликовано 02.10.2024 /
Сапоговский А.В.; патентообладатель: ФГБУ «Национальный
медицинский исследовательский центр детской травматологии и
ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России.**