

Беляев Андрей Сергеевич

**Функциональная мультиспиральная компьютерная томография
приобретенных деформаций стопы**

14.01.13 – Лучевая диагностика, лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

Научный руководитель:

член-корреспондент РАН,
доктор медицинских наук, профессор

Серова Наталья Сергеевна

Официальные оппоненты:

Морозов Александр Константинович – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, отделение лучевой диагностики, заведующий отделением

Нуднов Николай Васильевич – доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заместитель директора по научной работе

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится «15» сентября 2021 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.06 на базе ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119435, г. Москва, ул. Большая Пироговская, д.6, стр. 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЦНМБ ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119034, г. Москва, Зубовский бульвар, д.37/1 и на сайте www.sechenov.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат медицинских наук



Павлова Ольга Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) заболевания стопы и голеностопного сустава серьезно нарушают образ жизни и социальную адаптацию до 75% населения земного шара. Приобретенные деформации составляют значительную часть всей патологии стопы. Высокая распространенность, сложная этиология, длительное многостадийное течение с постепенной инвалидизацией пациентов на фоне прогрессирующей деформации – факторы, которые в значительной степени определяют актуальность медицинского обеспечения данной группы пациентов (Кондрашова И.А., 2013; Быстров С.В., 2016; Crevoisier X., 2016; Toullec E., 2015).

По данным отечественных и зарубежных авторов, частота встречаемости различных приобретенных деформаций стопы составляет до 80% (Миронов С.П., 2008; Haddad St., 2011; Виндерлих М.Е., 2016; Crevoisier X., 2016).

Среди факторов риска наиболее значимыми являются женский пол и поздний взрослый возраст по критериям ВОЗ (средний, по данным исследований возраст - 45-55 лет), повышенное питание (Meehan R.E., 2003; Сорокин Е.П., 2013; Бобров Д.С., 2015).

Стопа представляет собой один из наиболее сложных анатомических отделов опорно-двигательного аппарата, состоящий из 3 структурных компонентов: костного, сухожильно-связочного и мышечного, которые выполняют опорную и рессорную функции стопы (Кондрашова И.А., 2013; Ota T., 2017). В современной научной литературе также описано клинко-анатомическое деление стопы на передний, средний и задний отделы (Crevoisier X., 2016; De Cesar Netto C., 2018).

Совершенствование хирургических методов лечения приобретенных деформаций стопы определяет новые возможности лучевой диагностики данной патологии, а именно – использование наиболее оптимального подхода к

предоперационной подготовке пациентов и контрольным исследованиям после хирургического вмешательства.

Классическая рентгенография (РГ) стопы с нагрузкой в прямой и боковой проекции, а также оценка заднего отдела стопы в проекции Saltzman наряду с широкой распространенностью имеет ряд существенных недостатков: суммационный эффект, необходимость проведения нескольких исследований отдельно для каждой стопы, отсутствие общепринятых стандартов укладки пациента, невозможность достоверной оценки изменений гипермобильности отдельных суставов стопы (Saltzman Ch., 1995; Соломин Л.Н., 2017; Rohan P.Y., 2018).

В настоящее время активно обсуждается использование компьютерной томографии стопы с нагрузкой в диагностике различной патологии стопы и голеностопного сустава. Объединение преимуществ классической мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) и осевой нагрузки на стопу позволяет детально изучить ее различные отделы, а также определить степень влияния компонентов деформации на показатели угловых параметров взаимного расположения костей (Colin F., 2014; Krähenbühl N., 2015; Cheung Z.B., 2018; Godoy-Santos A., 2018).

На текущий момент не определены диагностические возможности лучевых методов исследования у пациентов с приобретенными деформациями стопы, отсутствует алгоритм лучевого обследования и точные критерии для определения степени патологических изменений в переднем, среднем и заднем отделе стопы. Кроме того, отдельного внимания заслуживает оценка комбинированных деформаций разных отделов стопы, а также сравнительный анализ данных рентгенографии стопы с нагрузкой, МСКТ с нагрузкой и без.

Учитывая все перечисленные особенности этиологии, патогенеза, а также вопросы диагностики и лечения приобретенных деформаций стопы данная работа направлена на повышение эффективности использования лучевых методов

исследования на до- и послеоперационных этапах лечения у пациентов с различными приобретенными деформациями.

Степень разработанности темы исследования

Автором обследованы 150 пациентов с различными видами приобретенных деформаций стопы на до- и послеоперационных этапах лечения с использованием методов лучевой диагностики. Выводы и практические рекомендации автора основаны на результате комплексного изучения данных достаточного количества пациентов с различными деформациями стопы. План обследования пациентов на до- и послеоперационных этапах соответствует целям и задачам исследования. Результаты исследования научно обоснованы. Достоверность полученных результатов подтверждена проведенным статистическим анализом. Проверена первичная документация (истории болезни пациентов, исследования, протоколы методов исследований на до- и послеоперационных этапах обследования, протоколы хирургического лечения, выписные эпикризы, таблицы, базы данных).

Цель исследования

Совершенствование лучевой диагностики приобретенных деформаций стопы.

Задачи исследования

1. Разработать методику функциональной мультиспиральной компьютерной томографии для оценки различных приобретенных деформаций стопы.
2. Определить и сравнить диагностическую эффективность методов лучевой диагностики (рентгенографии стопы с нагрузкой, мультиспиральной компьютерной томографии, функциональной мультиспиральной компьютерной томографии с нагрузкой) в оценке приобретенных деформаций стопы до и после хирургического лечения.
3. Определить значение функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в пред- и послеоперационном контроле пациентов с приобретенными деформациями стопы.

Научная новизна

Настоящая работа является первым обобщающим исследованием, посвященным изучению применения лучевых методов исследования в диагностике, определении тактики и контроле лечения пациентов с приобретенными деформациями стопы. Впервые проведена оценка диагностических возможностей различных методов лучевой диагностики (рентгенографии с нагрузкой, функциональной мультиспиральной компьютерной томографии стопы с нагрузкой, мультиспиральной компьютерной томографии) на различных этапах лечения у данной категории пациентов. Впервые разработана методика функциональной МСКТ стопы, а также расширенный протокол для использования на всех этапах лечения пациентов с приобретенными деформациями, уточнена роль функциональной МСКТ в контроле послеоперационного периода. Впервые доказана эффективность функциональной МСКТ с нагрузкой в определении степени деформации переднего, среднего и заднего отделов стопы, а также проведена оценка значимых изменений взаимного положения разных отделов стопы.

Теоретическая и практическая значимость

Разработанная методика функциональной МСКТ и расширенный протокол описания у пациентов с приобретенными деформациями стопы на до- и послеоперационных этапах позволяют повысить качество диагностики и лечения у данной категории пациентов. Функциональная МСКТ стопы с нагрузкой дала возможность подробной оценки переднего, среднего и заднего отделов стопы и их взаимного расположения с использованием мультипланарных реконструкций. Особенности течения различных деформаций переднего отдела стопы (ДПОС) потребовали разработки специальных расширенных протоколов для этой группы пациентов. Полученные данные позволяют снизить риск возможных интраоперационных осложнений, а также повысить качество лечения пациентов с приобретенными деформациями стопы в целом.

Методология и методы исследования

Представленная на защиту научно-исследовательская работа выполнена с соблюдением этических норм и принципов доказательной медицины. Методология диссертационной работы предусматривала разработку дизайна исследования, определение объема выборки для обеспечения ее репрезентативности, подбор математических и программных средств статистической обработки полученных данных. Для проведения исследовательской работы использованы современные диагностические и инструментальные методы обследования пациентов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Функциональная мультиспиральная компьютерная томография играет ведущую роль в комплексной оценке переднего, среднего и заднего отделов стопы у пациентов с приобретенными деформациями.
2. Послеоперационный контроль у пациентов с приобретенными деформациями стопы должен осуществляться с помощью функциональной мультиспиральной компьютерной томографии.
3. Данные функциональной мультиспиральной компьютерной томографии позволяют оптимизировать выбор тактики хирургического лечения у пациентов с плосковальгусной деформацией стопы.

Связь работы с научными программами, планами, темами

Представленная диссертационная работа выполнена в соответствии с научно-исследовательской программой на кафедре лучевой диагностики и лучевой терапии института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

Внедрение результатов исследования в практику

Результаты диссертационного исследования внедрены в работу отделения лучевой диагностики №2 Университетской клинической больницы №1; в

учебный процесс кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии Сеченовского Университета (г. Москва).

Личный вклад автора

Научные результаты, обобщенные в диссертационной работе Беляева А.С., получены им самостоятельно в отделении лучевой диагностики №2 университетской клинической больницы №1. В исследование включены 150 пациентов с различными приобретенными деформациями стопы. Автор принимал непосредственное участие в лучевом обследовании всех пациентов с приобретенным плоскостопием взрослых, эквиноварусной и посттравматической деформациями на до- и послеоперационных этапах обследования. Автором проанализированы результаты рентгенологических исследований, определена диагностическая эффективность лучевых методов исследования на до- и послеоперационных этапах обследования. Проведена статистическая обработка данных с использованием статистических программ.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертации доложены на XI, XII, XIII Всероссийских Национальных Конгрессах лучевых диагностов и терапевтов «Радиология» (Москва, 2017–2019 гг.), на VI Евразийском конгрессе травматологов-ортопедов (Казань, 2017 г.), ежегодном конгрессе российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР 2017, 2018), на итоговом конгрессе МРОР «Скелетно-мышечная радиология» (2017), на конгрессе «Лучевая диагностика и научно-технический прогресс в ортопедии» (2019).

Апробация результатов диссертационного исследования была проведена на заседании кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии ИКМ им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), протокол № 7 от 18.02.2021 г.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 5 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для публикаций основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата медицинских наук по специальности 14.01.13 – Лучевая диагностика, лучевая терапия, в том числе 2 статьи в журналах, рецензируемых в международной системе Scopus, оформлено 2 патента на изобретение (Роспатент). Подготовлено учебное пособие.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

По тематике, методам исследования (рентгенологическое исследование, мультиспиральная компьютерная томография, функциональная мультиспиральная компьютерная томография), предложенным новым научным положениям, представленная диссертация соответствует паспорту научной специальности 14.01.13 – Лучевая диагностика, лучевая терапия.

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 142 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, глав, характеризующих материалы и методы исследования, результатов собственных исследований, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы. Текст иллюстрирован 23 таблицами и 54 рисунками. Список литературы содержит 146 наименований, из них 61 отечественных и 85 зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы

В период с 2016 по 2019 годы на базе отделения лучевой диагностики №2 университетской клинической больницы № 1 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова было проведено комплексное лучевое обследование 150 пациентов с различными

приобретенными деформациями стопы. Клинико-лабораторная диагностика проводилась на кафедре травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И.М. Сеченова на базе университетской клинической больницы № 1.

Из работы исключались пациенты с врожденными деформациями стопы, а также с деформациями стопы после хирургического лечения на момент консультации. Информированное согласие было получено у всех пациентов, принимающих участие в научном исследовании.

В рамках научной работы было обследовано 25 пациентов (50 стоп) без врожденной и приобретенной патологии стопы и голеностопного сустава для формирования контрольной группы. Обследование проводилось добровольно, с получением у пациентов информированного согласия об участии в исследовательской работе с использованием низкодозового протокола МСКТ и функциональной МСКТ.

Более половины всех пациентов ($n=150$; 100,0%) составили лица женского пола ($n=123$; 82,0%). Одинаковое количество пациентов находилось в возрастных группах от 41 до 50 лет и от 51 до 60 лет – в обеих группах по 33 человека ($n=33$; 22,0%). 39 человек составили пациенты в возрастной группе старше 60 лет ($n=39$; 26,0%) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Диаграмма распределения пациентов в зависимости от возраста

После клинического обследования 150 пациентов с различными приобретенными деформациями стопы ($n=150$; 100,0%) были выделены три основных типа деформации: плосковальгусная деформация стопы (ПВДС) различной степени тяжести ($n=122$; 82,0%), эквиноварусная деформация стопы (ЭВДС) ($n=11$; 7,0%) и посттравматическая деформация стопы (ПТДС) ($n=17$; 11,0%).

Все пациенты с плосковальгусной деформацией были в дальнейшем разделены на 3 группы согласно степени тяжести, на основании клинического и лучевого обследования путем измерения угла продольного свода стопы (УПС) по методике Богданова. В ходе обследования было установлено, что у части пациентов левая и правая стопы имели разную степень деформации, поэтому при дальнейшем формировании групп учитывалось количество стоп, а не пациентов. 4 группа являлась контрольной ($n=25$).

1 группа. 70 пациентов с плосковальгусной деформацией I степени тяжести – 121 стопа ($n=121$).

2 группа. 59 пациентов с плосковальгусной деформацией II степени тяжести – 90 стоп ($n=90$).

3 группа. 21 пациент с плосковальгусной деформацией III степени тяжести – 33 стопы ($n=33$).

У части пациентов ($n=39$; 26,0%) степень деформации одной и другой стопы различались, стопы были распределены в разные группы. 1-2 степень плосковальгусной деформации разных стоп определялась у 28 пациентов ($n=28$; 19,0%), а 2-3 степень – у 11 человек ($n=11$; 7,0%).

В рамках научной работы всем пациентам с приобретенными деформациями стопы ($n=150$; 100,0%) выполняли классическую МСКТ стопы без нагрузки ($n=150$; 100,0%) и функциональную мультиспиральную компьютерную томографию (фМСКТ) стопы с нагрузкой ($n=150$; 100,0%). У всех пациентов с

приобретенными деформациями стопы были выполнены рентгенологические снимки стоп в боковой проекции по методике Богданова (n=150), которые были включены в исследование для сравнительного анализа. Все этапы были проведены по разработанному плану обследования (рисунок 2).



Рисунок 2 – План комплексного клиничко-лучевого обследования пациентов с приобретенными деформациями стопы

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) являлась первым этапом лучевой диагностики пациентов с приобретенными деформациями стопы. Исследование выполнялось на мультиспиральном компьютерном томографе «Toshiba Aquilion One 640» (Toshiba Medical Systems, Япония).

Исследование проводилось в положении лежа. Осуществлялась укладка пациента на спину на ложемент компьютерного томографа с направлением нижних конечностей в сторону гентри. Стопы пациента были установлены параллельно друг другу, в свободном нефиксированном положении. Пациент был информирован, что после установки стоп в необходимое для проведения МСКТ положения и во время самого исследования менять положение или двигать стопы не следует ввиду риска искажения изображения и появления

двигательных артефактов. Перед исследованием при помощи лазерных лучей, установленных в томографе, проводилась разметка для точного позиционирования области исследования. Верхняя граница сканирования устанавливалась на уровне 4-5 см выше проекции голеностопных суставов.

МСКТ проводилась по протоколу Ankle/foot volume с заданными производителем параметрами. Технические характеристики протокола представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики протокола МСКТ

Режим томографирования	Объемный (Volume)
Толщина среза	0,5 мм
Угол наклона гентри	0 гр.
Зона исследования	160 мм
Поле исследования	350 мм
Напряжение	120 кВ
Сила тока	150 мА
Время оборота рентгеновской трубки	0,5 с
Время исследования	0,5 с

Функциональная мультиспиральная компьютерная томография (фМСКТ) являлась вторым этапом лучевой диагностики у пациентов, включенных в исследование. Для осуществления функциональной осевой нагрузки на стопу во время исследования на мультиспиральном компьютерном томографе (Toshiba Aquilion One 640, Toshiba Medical Systems, Япония) в ходе научной работы была разработана и запатентована методика компьютерно-томографической диагностики заболеваний голеностопного сустава и стопы (патент № 2659028). Устройство для осуществления осевой нагрузки на стопу состояло из специального жилета, фиксированного на плечи и кости таза пациента. К нижнему поясу жилета карабином крепился специальный ремень, фиксирующий подставку для обеих стоп пациента в положении лежа. К одной из частей данного ремня присоединялся специальный карабин с тензодатчиком для точного определения степени весовой нагрузки на стопы с учетом веса пациента.

Перед укладкой на ложемент компьютерного томографа пациент вставал на откалиброванные весы, находящиеся в кабинете. После чего пациент экипировался специальным устройством для создания осевой нагрузки на обе стопы во время исследования (рисунок 3А). После укладки на ложемент компьютерного томографа нижний ремень устройства для фМСКТ настраивался так, чтобы отображаемая на тензодатчике степень нагрузки соответствовала предварительно измеренному весу пациента (рисунок 3Б). Позиционирование области интереса (области исследования) осуществлялось при помощи лазерных лучей, установленных в томографе. Верхняя граница сканирования, так же, как и при классическом исследовании МСКТ, устанавливалась на уровне 4-5 см выше проекции голеностопных суставов. Сканирование проводилось по протоколу ankle/foot volume.

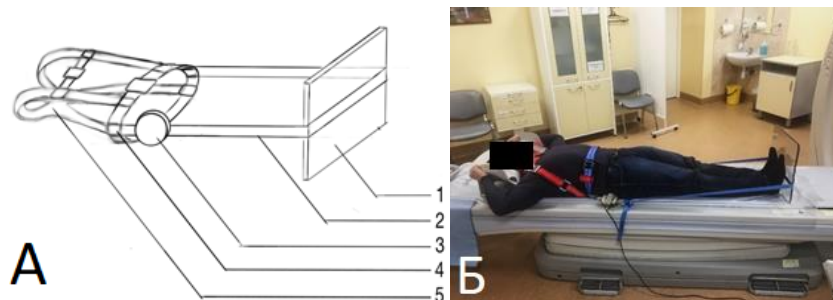


Рисунок 3 – Схема (А) и фотография (Б) устройства для функциональной МСКТ стопы с нагрузкой. А – 1 – опорная площадка, 2 – ремни для крепления опорной площадки, 3 – тензодатчик, 4, 5 – пояс и жилет для фиксации на теле пациента

После проведения каждого из этапов исследования всем пациентам (n=150; 100,0%) проводилось построение мультипланарных реконструкций (MPR), а также и 3D-реконструкций. После проведения функциональной МСКТ всем пациентам был выполнен анализ 12 угловых морфофункциональных показателей.

Таблица 2 – Угловые параметры для оценки степени деформации

Передний отдел стопы	
HVA	Угол отклонения 1 пальца стопы
M1M2	Угол между 1 и 2 плюсневыми костями
M1M5	Угол открытия переднего отдела стопы (между 1 и 5 плюсневыми костями)
FFA	Угол поперечного свода стопы
Средний отдел стопы	
ATMTU	Аксиальный тарзально-1-метатарзальный угол
УПС	Угол продольного свода стопы
СТMTU	Сагиттальный тарзально-1-метатарзальный угол
УПГТК	Угол покрытия головки таранной кости
Задний отдел стопы	
НАА	Угол заднего отдела стопы
SVA	Подтаранный вертикальный угол
АТПУ	Аксиальный таранно-пяточный угол
СТПУ	Сагиттальный таранно-пяточный угол

Оценка переднего, среднего и заднего отделов стопы проводилась всем пациентам (n=150; 100,0%) (рисунки 4, 5).



Рисунок 4 – Функциональная МСКТ стопы. А – оценка угла НВА на МПР с определением центральной оси 1 плюсневой кости; Б – оценка угла М1М2 на косой МПР; В – оценка угла М1М5 на аксиальной МПР

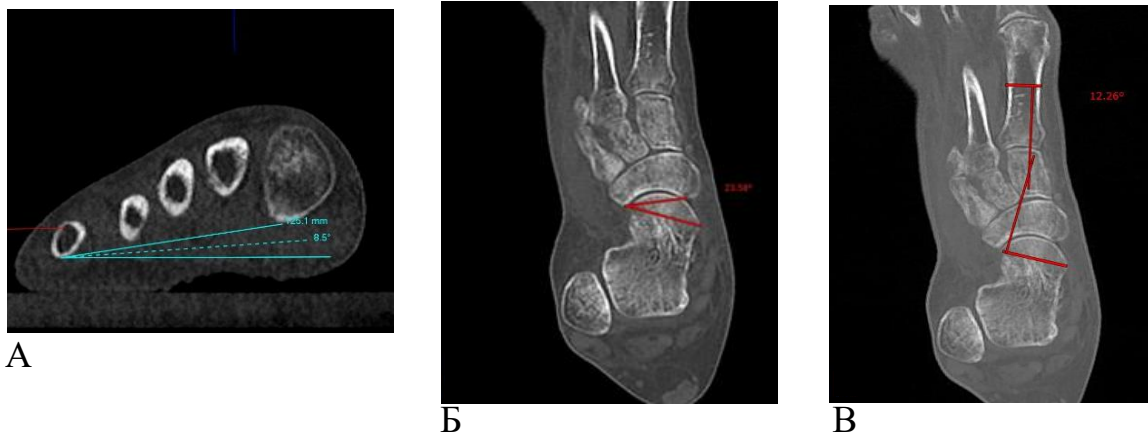


Рисунок 5 – Функциональная МСКТ стопы. А – оценка угла FFA в коронарной плоскости; Б – оценка угла покрытия головки таранной кости (УПГТК); В – оценка 1 таранно-метатарзального угла на аксиальной МПР

Одними из наиболее значимых угловых показателей для оценки плосковальгусной деформации стопы являлись угол продольного свода стопы (УПС), а также сагиттальный тарзально-1-метатарзальный угол (СТМТУ).

Построение угла продольного свода (УПС) и сагиттального тарзально-1-метатарзального угла (СТМТУ) проводилось на стандартной сагиттальной проекции МПР. УПС оценивался с линиями в 3 точках – нижний край головки 1 плюсневой кости, нижняя точка клиновидно-ладьевидного сочленения и нижний край бугра пяточной кости (рисунок 6А). СТМТУ оценивал пересечение центральной осей таранной и 1 плюсневых костей (рисунок 6Б).

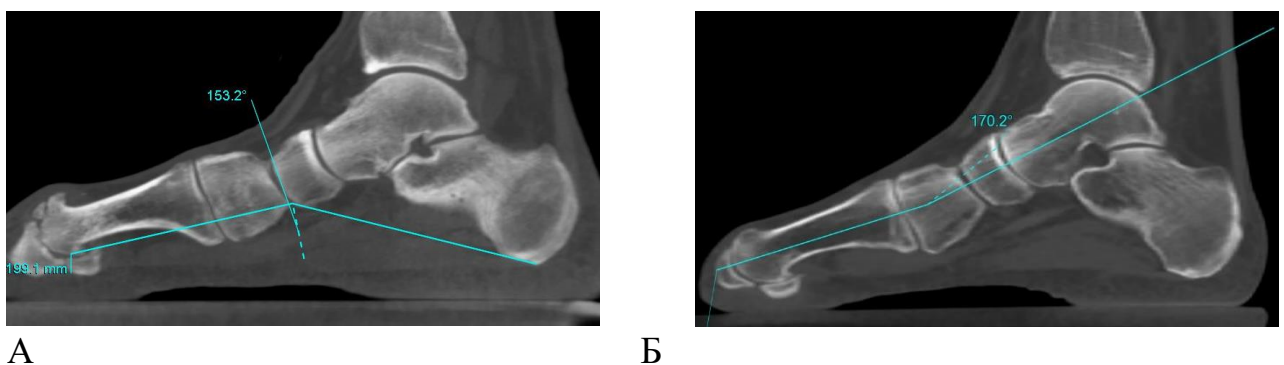
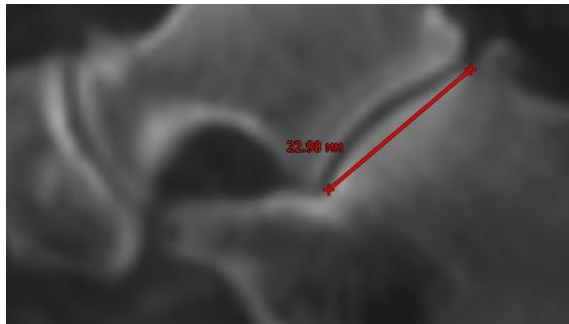


Рисунок 6 – Функциональная МСКТ стопы. Сагиттальная проекция. А – определение УПС. Б – определение СТМТУ

Угол заднего отдела стопы (НАА) и подтаранный вертикальный угол (SVA) оценивались на изображениях в коронарной плоскости. Для определения угла

SVA определялась центральная точка суставной поверхности таранной кости в подтаранном суставе путем построения линии с крайними точками в переднем и заднем краях суставной поверхности (рисунок 7).



А



Б

Рисунок 7 – Функциональная МСКТ стопы. А – сагиттальная проекция, определение центральной точки суставной поверхности таранной кости для позиционирования коронарного изображения; Б – коронарная плоскость, определение угла SVA

Кроме того, в расширенный протокол описания функциональной МСКТ у пациентов с приобретенными деформациями стопы входили:

- оценка наличия сверхкомплектных костей стопы (os tibiale externum, os trigonum, дополнительные сесамовидные кости и др.);
- определение степени латеропозиции сесамовидных костей (на корональном изображении МПР), степень деформации сесамовидных костей;
- оценка степени подвывиха в таранно-ладьевидном суставе;
- определение латерального, медиального, переднего или заднего импинджмент-синдрома;
- наличие «стрессовых» переломов плюсневых костей;
- оценка степени костно-деструктивных изменений голеностопного, подтаранного, таранно-ладьевидного, пяточно-кубовидного, предплюсне-плюсневых, плюсне-фаланговых и межфаланговых суставов.

У 150 пациентов ($n=150$; 100,0%) была проведена оценка рентгенологических снимков стопы в боковой проекции. Снимки стопы (300 стоп) были выполнены по методике Богданова. Рентгенологическое исследование проводилось в положении стоя с нагрузкой на стопу.

На рентгенологических изображениях проводилась оценка 3 стандартных угловых показателей – угла продольного свода (УПС), угла наклона пяточной кости (УНПК) и таранно-пяточного угла (угла Kite). Данные рентгенологического исследования были сопоставлены с данными функциональной МСКТ для определения наличия статистически значимой разницы в основных показателях стопы в зависимости от метода лучевого исследования.

Всем пациентам после оперативного вмешательства ($n=87$; 58,0%) была проведена повторная фМСКТ стопы с нагрузкой, а также МСКТ без нагрузки. На основании данных послеоперационной функциональной МСКТ оценивались следующие параметры:

1. вид оперативного вмешательства, расположение фиксирующих металлоконструкций, состояние области остеотомии;
2. оценка переднего, среднего и заднего отделов стопы;
3. оценка степени изменения угловых показателей стопы, измеренных на предоперационном этапе.

Сопоставление данных РГ и фМСКТ было необходимым условием для внедрения новой запатентованной методики в клиническую практику на основании собственных исследований. Результаты измерения трех основных угловых показателей стопы у 134 пациентов ($n=134$; 89,0%) на боковых рентгенограммах и сагиттальных МПР-изображениях фМСКТ с нагрузкой продемонстрировали высокую степень совпадения между двумя методами с использованием принципиально разного способа создания осевой нагрузки на стопу. У 16 пациентов ($n=16$; 11,0%) возможности фМСКТ превосходили РГ стопы в боковой проекции в следствие наличия выраженной деформации переднего и заднего

отделов стопы и суммационного эффекта на рентгенограммах, не позволяющего достоверно оценить степень деформации.

При сопоставлении данных угловых показателей стопы пациентов с ПВДС, измеренных с помощью фМСКТ с нагрузкой и классической МСКТ без нагрузки были получены следующие результаты:

- передний отдел стопы: показатели НВА и М1М2 продемонстрировали значения в рамках референсных значений вне зависимости от нагрузки у пациентов группы нормы, а также пациентов с 1 и 2 степенью ПВДС без деформации переднего отдела. У пациентов с 1 степенью ПВДС с деформацией переднего отдела стопы значения вышеуказанных показателей значительно различались (для НВА на $7,8^\circ$, для М1М2 на $2,8^\circ$). У пациентов со 2 и 3 степенью ПВДС и деформацией переднего отдела стопы показатели продемонстрировали выраженную степень отклонения как при нагрузке, так и без нее (не более $0,6^\circ$), что характеризовало ригидность деформации. Показатель М1М5 значительно отличался при фМСКТ и МСКТ только у пациентов с 2 ст. ПВДС и деформацией переднего отдела стопы (на 6°). В остальных группах пациентов величина разницы находилась в пределах $3,8^\circ$, а у пациентов с 3 степенью ПВДС с ДПОС составила всего $2,5^\circ$. Показатель FFA у группы норма различался на $2,4^\circ$ при нагрузке, в остальных случаях показал тенденцию к снижению в соответствии с увеличением степени ПВДС;

- средний отдел стопы: при оценке УПС в зависимости от нагрузки показатели менялись в значительной степени, с тенденцией к «имитации» более легкой степени ПВДС при МСКТ без нагрузки у всех групп пациентов. Наименьшая разница показателя УПС отмечена у пациентов с 3 ст. ПВДС с ДПОС, что свидетельствует в пользу ригидного типа деформации. АТМТУ и СТМТУ, характеризующие взаимное расположение среднего и переднего отделов стопы продемонстрировали прямую зависимость результатов показателей в зависимости от наличия или отсутствия нагрузки на стопы. УПГТК при классическом варианте МСКТ стопы без нагрузки характеризовался более

низкими значениями, в то время как при фМСКТ величина угла у всех групп пациентов возрастала;

- задний отдел стопы: показатели СТПУ и АТПУ имеют широкие границы «нормы», результаты данных показателей у всех групп пациентов менялись незначительно в зависимости от нагрузки на стопы, и оставались в рамках нормальных значений. Показатель НАА у пациентов с тяжелой (3) степенью ПВДС характеризовался более высокими угловыми показателями. Наибольшая разница в зависимости от нагрузки наблюдалась у пациентов с ПВДС 2 ст. тяжести, характеризую «эластичность» заднего отдела стопы при данном типе патологии. Показатель SVA продемонстрировал неоднородные результаты, с значительной разницей результатов в зависимости от типа МСКТ.

По данным фМСКТ, проведенной на предоперационном этапе, хирургическую тактику лечения определили 87 пациентам (n=87; 58,0%). У 28 пациентов с ПВДС проведен стандартный протокол операции по типу диафизарной остеотомии Scarf с учетом предоперационных фМСКТ-данных. Кроме этого, у 30 пациентов на основании данных фМСКТ была выбрана методика диафизарной остеотомии Scarf с пластикой сухожилия ЗББМ. На предоперационном этапе у 20 пациентов определены признаки гипермобильности 1 плюсне-клиновидного сустава, а также у 9 пациентов признаки вальгусной деформации заднего отдела стопы с компрессией пазухи предплюсны (показателей НАА, SVA, наличия латерального импиджмент-синдрома, снижения высоты пазухи предплюсны). У этих групп пациентов применялся расширенный протокол операции в виде диафизарной остеотомии по типу Scarf с артродезом 1 плюсне-клиновидного сустава, а также декомпрессионные операции на пазухе предплюсны.

В послеоперационном периоде проводилась оценка положения металлоконструкций, выполнялось измерение угловых показателей стопы и степень их изменений в сравнении с предоперационными значениями.

При сравнении диагностической эффективности фМСКТ, МСКТ и РГ наибольший интерес представляла комплексная оценка среднего отдела стопы. По результатам работы было рассчитано, что чувствительность, специфичность и точность фМСКТ в оценке среднего отдела стопы составили $Sn - 98,3\%$, $Sp - 99,3\%$ и $Ac - 99,0\%$, МСКТ – $Sn - 67\%$, $Sp - 69\%$ и $Ac - 67\%$, РГ – $Sn - 87\%$, $Sp - 90\%$ и $Ac - 88\%$, соответственно. Показатели диагностической эффективности лучевых методов исследования (фМСКТ, МСКТ) для заднего отдела стопы на основании разработанного протокола составили для фМСКТ $99,5\%$, $97,3\%$, $97,5\%$ (Sn , Sp , Ac), для МСКТ – $78,2\%$, $77,5\%$, $77,1\%$ (Sn , Sp , Ac). Определение диагностической эффективности РГ было затруднено в связи с невозможностью использования этой методики для достоверной оценки заднего отдела стопы. Угловые показатели, которые возможно оценить на боковой РГ стопы с нагрузкой, продемонстрировали результаты в пределах нормальных значений у всех пациентов (100%).

Диагностическая эффективность методов лучевой диагностики в определении степени деформации в послеоперационном периоде проводилась с помощью фМСКТ и МСКТ. Данные фМСКТ составили $Sn - 98,9\%$, $Sp - 99,3\%$ и $Ac - 95,4\%$, в то время как показатели МСКТ составили 72% , 77% и 75% , соответственно.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило высокую диагностическую эффективность функциональной МСКТ стопы с нагрузкой, а также комфорт и безопасность методики для пациента. В работе продемонстрировано, что функциональная МСКТ может стать методом выбора для обследования пациентов с приобретенными деформациями стоп при определении тактики лечения на основе стандартных угловых показателей, при планировании комплексных хирургических операций и в послеоперационном периоде.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии и расширенный протокол описания данных фМСКТ могут быть использованы для диагностики приобретенных деформаций стопы.
2. При определении степени деформации переднего, среднего и заднего отделов стопы у пациентов с приобретенными деформациями стопы функциональная МСКТ с нагрузкой продемонстрировала высокие показатели чувствительности, специфичности, точности.
3. Разработанная методика функциональной МСКТ стопы у пациентов с приобретенными деформациями дала возможность получить дополнительную объективную диагностическую информацию о значениях угловых показателей стопы, особенно, заднего отдела стопы, а также гипермобильности 1 плюсне-клиновидного сустава и позволила изменить тактику ведения пациентов в 20% случаев.
4. Результаты функциональной МСКТ стопы позволяют достоверно использовать стандартные угловые показатели для определения деформации по категориям и степени, а также планировать тактику лечения пациентов с приобретенными деформациями.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При комплексном обследовании пациентов с различными приобретенными деформациями стопы необходимо использовать методику функциональной мультиспиральной компьютерной томографии стопы на до- и послеоперационном этапах лечения.
2. Расширенный протокол описания функциональной МСКТ стопы должен быть использован на предоперационном этапе обследования пациентов с приобретенными деформациями с целью выявления критериев к расширенному протоколу оперативного вмешательства (гипермобильность 1 плюсне-клиновидного сустава, латеральный импиджмент-синдром, компрессия пазухи предплюсны).

3. Послеоперационный контроль у пациентов с ПДС необходимо проводить с использованием расширенного протокола фМСКТ. Для каждой конкретной операции необходимо использовать отдельных угловые показатели переднего, среднего или заднего отдела, а также их комбинации, в зависимости от объема оперативного вмешательства.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Терновой С.К., Серова Н.С., **Беляев А.С.**, Бобров Д.С., Терновой К.С. Методика функциональной мультиспиральной компьютерной томографии в диагностике плоскостопия взрослых. // **REJR. (Scopus)** – 2017 – Том 7 – №1 – С. 94-100.

2. **Беляев А.С.**, Бобров Д.С., Серова Н.С. Функциональная мультиспиральная компьютерная томография стопы в определении стандартных угловых параметров при плосковальгусной деформации стоп. // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2017 – №4(30) – 2017 – С. 5-10

3. **Патент на изобретение №2659028**, Российская Федерация, А61В 6/04. Способ мультиспиральной компьютерно-томографической диагностики заболеваний голеностопного сустава и стопы / Терновой С.К., Бобров Д.С., Серова Н.С., **Беляев А.С.**, Гордина Г.С., Терновой К.С., Черепанов В.Г., Слияков Л.Ю. – 2016123715, заявл. 15.06.2016, **опубл. 20.12.2017, Бюл. №35**

4. **Беляев А.С.**, Серова Н.С., Бобров Д.С. Функциональная мультиспиральная компьютерная томография в диагностике маршевых переломов плюсневых костей у пациентов с вальгусной деформацией: 2 случая из практики. // **Медицинская визуализация.** – 2018 – Том 22 – №4 – С. 77-84.

5. Серова Н.С., **Беляев А.С.**, Бобров Д.С., Бабкова А.А., Карев А.С. Роль функциональной МСКТ с нагрузкой в диагностике эластичной плосковальгусной деформации стопы. // **REJR. (Scopus)** – 2019 – Том 9 – №2 – С. 301-314.

6. **Беляев А.С., Серова Н.С., Бобров Д.С.** Рентгенография стопы с нагрузкой и ФМСКТ стопы с нагрузкой: сравнительный анализ стандартных угловых показателей у пациентов с приобретенным плоскостопием взрослых. // **Диагностическая и интервенционная радиология.** 2019 – Том 13 – №3 – С. 36-44.

7. **Патент на изобретение №2691519**, Российская Федерация, А61В 6/00. Способ и устройство для диагностики нестабильности голеностопного сустава / Кавалерский Г.М., Бобров Д.С., Карев А.С., Бровкин С.В., Петров Н.В., Терновой С.К., Серова Н.С., **Беляев А.С.** – 20181442272, заявл. 14.12.2018, **опубл. 14.06.2019, Бюл. №17**

8. Серова Н.С., **Беляев А.С.** Актуальные вопросы лучевой диагностики приобретенного плоскостопия взрослых. // **Медицинский вестник МВД.** – 2021 – №2 – С. 51-56.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МСКТ – компьютерная томография

МПР – мультипланарная реконструкция

РГ – рентгенография

ПВДС – плосковальгусная деформация стопы

ПДС – приобретенные деформации стопы

ДПОС – деформация переднего отдела стопы

фМСКТ – функциональная мультиспиральная компьютерная томография

Ac — точность

Sn — чувствительность

Sp — специфичность