



## Оригинальная статья

© CC BY 4.0

УДК 616.7+617.586-007.5-07+004.89  
<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.92.13.008>

## Методы исследования стопы: традиционные и цифровые технологии (обзор литературы)

Константин Юрьевич Череповский

Луганский государственный медицинский университет имени Святителя Луки, 291045, г.о. Луганский, г. Луганск, кв-л 50-летия  
Обороны Луганска, д. 1г, Луганская Народная Республика, Российская Федерация

**Для цитирования:** Череповский К.Ю. Методы исследования стопы: традиционные и цифровые технологии (обзор литературы). *Российские биомедицинские исследования*. 2025;10(4):116–124. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.92.13.008>.

Поступила: 03.09.2025

Одобрена: 03.11.2025

Принята к печати: 15.12.2025

**Автор****для корреспонденции:**

Константин Юрьевич  
Череповский

E-mail:  
[cherepovskiy.konstantin@yandex.ru](mailto:cherepovskiy.konstantin@yandex.ru)

**РЕЗЮМЕ.** Диагностика состояния стопы требует интеграции традиционных и цифровых методов, обеспечивающих комплексную оценку анатомо-функционального состояния. Классические подходы (клинический осмотр, морфометрия, плантография, рентгенография) сохраняют значение для первичной диагностики, однако их точность ограничена субъективностью и статичностью. Цифровые технологии — компьютерная плантография, нагрузочная компьютерная томография (weight-bearing computed tomography, WBCT) и 3D-сканирование — обеспечивают высокую точность, объективность и возможность динамического анализа. Их сочетание повышает диагностическую информативность, позволяет выявлять нарушения биомеханики, проектировать индивидуальные ортопедические изделия и формировать стандартизированные базы данных. Анализ литературы подтверждает, что синергия методов, дополненная ультразвуковыми исследованиями и магнитно-резонансной томографией для оценки мягких тканей, является оптимальной стратегией диагностики. Интеграция цифровых технологий с инструментами искусственного интеллекта открывает перспективы прогнозирования деформаций и персонализации лечения.

**Ключевые слова:** стопа, подиатрия, плантография, рентгенография, компьютерная плантография, 3D-сканирование, морфометрия

© Череповский К.Ю., 2025

**Источник финансирования.** Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.



Original article

<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.92.13.008>

## Foot examination methods: traditional and digital technologies (literature review)

Konstantin Yu. Cherepovsky

St. Luke Luhansk State Medical University, 1g 50th Anniversary of the Defense of Luhansk, Luhansk Region, Luhansk People's Republic, 291045, Russian Federation

**For citation:** Cherepovsky K.Yu. Foot examination methods: traditional and digital technologies (literature review). *Russian Biomedical Research*. 2025;10(4):116–124. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.92.13.008>.

Received: 03.09.2025

Revised: 03.11.2025

Accepted: 15.12.2025

**Corresponding author:**

Konstantin Yu.

Cherepovsky

E-mail:

cherepovskiy.konstantin@yandex.ru

**ABSTRACT.** Diagnosis of foot conditions requires integration of traditional and digital methods to ensure a comprehensive assessment of anatomical and functional parameters. Classical techniques (clinical examination, morphometry, plantography, radiography) remain relevant for initial evaluation but are limited by subjectivity and static nature. Digital technologies — computerized plantography, weight-bearing computed tomography (WBCT) and 3D scanning — provide high accuracy, objectivity, and the capacity for dynamic assessment. Their combination enhances diagnostic precision, reveals biomechanical dysfunctions, supports the design of personalized orthotic devices, and enables the creation of standardized databases. Literature analysis confirms that synergistic integration of methods, supplemented by ultrasound and magnetic resonance imaging for tissue assessment, represents the optimal diagnostic strategy. The incorporation of digital technologies with artificial intelligence tools opens new prospects for deformation prediction and treatment personalization.

**Keywords:** foot, podiatry, plantography, radiography, computerized plantography, 3D scanning, morphometry

© Cherepovsky K.Yu., 2025

**Funding.** The author claims no external funding for the study.



Исследование морфофункциональных характеристик стопы как в норме, так и при патологии остается одной из ключевых задач современной медицины [1]. Подиатрия, специализирующаяся на врожденных, приобретенных и посттравматических изменениях стопы и голеностопного сустава, охватывает широкий спектр клинических вопросов — от профилактики и подбора ортопедической обуви до разработки алгоритмов хирургического лечения [2]. При всем разнообразии существующих методов (визуальный осмотр, подометрия, плантография, рентгенография и др.) ни один из них не способен обеспечить комплексное представление об анатомо-функциональном состоянии стопы [3, 4]. Это обстоятельство обуславливает необходимость критического анализа возможностей отдельных подходов и их рационального сочетания.

Клинический осмотр используется на этапе первичной диагностики и позволяет получить общее представление о морфологии и функции стопы. Он включает анкетирование (жалобы, анамнез, особенности обуви/нагрузки) и непосредственное обследование пациента [5, 6]. Осмотр проводится как без нагрузки в положении сидя, так и при функциональной физиологической нагрузке; оцениваются форма стопы, состояние кожных покровов, ось конечности, выявляются локальные изменения отделов стопы [2, 6, 7]. Для функциональной оценки сводов стопы применяются пробы (рычажный тест I пальца, тест активного подошвенного сгибания пальцев, проба Шриттера, симптом «подглядывающих пальцев» и др.) [8, 9].

Несмотря на важность клинической оценки, ее результаты во многом зависят от субъективных факторов — ощущений пациента и интерпретации врача [4, 6]. С целью повышения воспроизводимости данных предложены структурированные протоколы осмотра (Papaliadis D.N. et al., 2014), включающие последовательную оценку кожных покровов, структурных аномалий и деформаций, чувствительности стопы, объема активных и пассивных движений в суставах стопы, а также комплексный пальпаторный анализ [10]. Однако даже стандартизированные схемы не позволяют объективно количественно оценить нагрузочные параметры и динамику функций, что делает необходимым инструментальное подтверждение клинических наблюдений.

Одним из наиболее распространенных традиционных подходов остается морфометрический метод, основанный на прямых измерениях (длина, ширина, высота стопы, расчет индексов) с использованием сантиметровой ленты, стопомера и циркуля. Простота, доступность и быстрота делают его удобным в клинической практике, однако метод отражает

преимущественно статические анатомические параметры и подвержен погрешностям измерения [11].

Подометрия, предполагающая использование стопомера или толстотного циркуля для определения линейных, угловых и объемных характеристик, расширяет возможности морфометрического анализа. Она позволяет выявлять начальные степени плоскостопия, оценивать симметрию и форму стоп [2]. Тем не менее, как и морфометрия, подометрия не дает представления о функциональном состоянии стопы и остается зависимой от субъективной интерпретации измерений.

Плантография — метод регистрации отпечатков подошвенной поверхности стопы — стала важным шагом в направлении объективизации и эффективности оценки состояния стопы. Анализ плантограмм (визуальный и расчетный) с использованием угла Кларка, индекса Вейсфлога, Chipraux–Smirak и других показателей позволяет дать комплексную характеристику состояния сводов стопы и является признанным методом выявления плоскостопия [2, 11–13]. Преимуществами метода остаются доступность и простота измерения. Однако качество получаемых отпечатков зависит от множества факторов (техника выполнения, материал, положение стопы), а низкое разрешение и ручная обработка данных снижают точность и воспроизводимость результатов [14, 15]. Попытки автоматизации, такие как устройства типа Foot Imprinter (Orlin M.N., 2000), упрощали процесс, но не устраняли методологических ограничений [16].

Переход к цифровым технологиям привел к формированию нового направления — компьютерной плантографии, представляющей собой автоматизированную систему регистрации, анализа и хранения данных о подошвенной поверхности стопы [17]. В отличие от традиционной методики, компьютерная плантография обеспечивает высокую точность измерений, исключая влияние субъективных факторов [3, 7, 18, 19]. Ключевое преимущество — возможность количественной оценки распределения нагрузки на стопы, что имеет особое значение при диагностике патологий опорно-двигательного аппарата (например, при плоскостопии) и подборе индивидуальных ортопедических средств. Дополнительным достоинством является возможность многократного повторения измерений, что позволяет отслеживать динамику изменений, например, в ходе реабилитации или коррекции плоскостопия у детей [20, 21].

Развитие метода сопровождается созданием специализированных аппаратно-программных комплексов. Так, разработанный в Волгограде в 2005 году компьютерный плантографический комплекс на базе планшетного сканера и специализированного программного обеспечения автоматизировал расчет



морфометрических параметров (длина, ширина, углы отклонения I и V пальцев, индекс Вейсфлога и др.) и обеспечил качественную оценку опорной поверхности стопы, включая динамические функциональные пробы [22].

Комплекс «ДиаСлед» позволяет проводить как статический, так и динамический анализ стопы, оценивая длительность и силу давления на разные отделы стопы, параметры шага и визуализируя результаты в виде подограмм, что делает его востребованным инструментом клинической оценки [23].

Современные автоматизированные системы подометрии и плантографии охватывают широкий спектр устройств — от отечественных плантоскопов (GREENFOOT, «ПОДОСКАН-МБН») [24], регистрирующих исключительно подошвенную поверхность, до многофункциональных комплексов, таких как BODYTRONIC 600 (Германия) [25] и отечественные «ДиаСлед-Скан» и «Скан» [26], которые позволяют дополнительно визуализировать заднюю и боковые поверхности стопы. Такое расширение диагностического поля повышает точность оценки деформаций и асимметрий. Важным практическим преимуществом всех цифровых систем является высокая скорость обследования, что делает их особенно полезными при массовых скринингах и в условиях интенсивного клинического потока.

Таким образом, компьютерная плантография, несмотря на сравнительно высокую стоимость оборудования и программного обеспечения, заняла устойчивое место в современной диагностике состояния стопы. Ее основные преимущества — объективность, высокая точность и возможность динамического анализа распределения нагрузки — делают метод оптимальным для специализированных центров, а в перспективе — основой интегрированных цифровых систем оценки состояния опорно-двигательного аппарата [3, 12].

Верификация патологий стопы и выбор тактики лечения во многих случаях опираются на методы лучевой диагностики. Среди них наиболее распространена плоскостная рентгенография, которая по-прежнему сохраняет статус «золотого стандарта» визуализации костных структур. Она позволяет детально оценить анатомические структуры стопы как без нагрузки, так и под физиологической нагрузкой, что особенно важно при анализе биомеханики и планировании коррекции деформаций [26, 27].

Стандартное рентгенологическое исследование стопы выполняется в нескольких проекциях. Прямая и боковая рентгенограммы в положении стоя (с нагрузкой и без нее) применяются для оценки конфигурации костей плюсны и предплюсны, поперечного сустава плюсны (шопаров сустав), предплюснеплюс-

невых суставов (сустав Лисфранка), фаланг пальцев [28]. Прямая подошвенная проекция используется при определении угловых характеристик и межкостных соотношений [29, 30]. Боковая проекция дает возможность измерить ладьевидный угол свода, пяточный угол, высоту продольного свода и угол наклона переднего отдела стопы, отображая кости предплюсны, пяточную кость и суставы первого пальца [29, 30]. Косая внутренняя проекция дополняет данные, детализируя анатомию предплюсны и плюсны [29, 30]. Таким образом, рентгенография остается основным методом морфометрического анализа костного скелета стопы, необходимым для диагностики деформаций и оценки эффективности хирургического лечения [31, 32].

Вместе с тем методологические ограничения рентгенографии — двумерность и статичность изображения — не позволяют в полной мере анализировать пространственные и функциональные характеристики. Частично эти недостатки компенсирует рентгеновская компьютерная томография (РКТ), в том числе с нагрузкой (weight-bearing computed tomography, WBCT), внедренная в практику с 2012 года [27, 33]. РКТ обеспечивает трехмерную реконструкцию и послойное изображение костных структур в условиях физиологической нагрузки, что значительно повышает точность пространственных измерений. Метод незаменим при оценке сложных многоплоскостных деформаций, однако, как и рентгенография, остается статическим и сопровождается воздействием ионизирующего излучения, что ограничивает его применение, особенно при динамическом наблюдении [33].

Для изучения мягкотканых компонентов предпочтение отдается магнитно-резонансной томографии (МРТ). Она обеспечивает высокое пространственное разрешение при визуализации сухожилий, связок, фасций, сосудов и нервов, позволяет диагностировать воспалительные и дегенеративные изменения без лучевой нагрузки. МРТ особенно ценна при сочетанных повреждениях и хронических болевых синдромах. Основные ограничения метода — высокая стоимость, продолжительность исследования и наличие противопоказаний (металлические имплантаты, клаустрофобия и др.) [34, 35].

Ультразвуковое исследование (УЗИ) занимает важное место в функциональной диагностике стопы благодаря неинвазивности, возможности динамического сканирования в реальном времени и проведения интервенционных процедур. Метод информативен при оценке состояния мягкотканых структур — сухожилий, фасций, связочного аппарата. Его ключевой недостаток — высокая операторозависимость, то есть субъективность интерпретации, напрямую зависящая от квалификации специалиста,



снижающая воспроизводимость и объективность результатов. Именно этот фактор стимулирует развитие автоматизированных систем визуализации и поиск более стандартизированных альтернатив [36–38].

На этом фоне активно развиваются бесконтактные цифровые технологии, в частности 3D-сканирование, рассматриваемое как точный и воспроизводимый метод получения морфометрических данных о стопе. В отличие от традиционных контактных методик, 3D-сканирование позволяет исследовать стопу как в статике, так и в динамике, обеспечивая трехмерное представление формы, объема и распределения нагрузки [39, 40]. Дискуссия в научном сообществе о его преимуществе над классическими методами стимулировала множество сравнительных исследований.

Работа С.Р. Witana и соавт. (2006) продемонстрировала статистически значимые расхождения между результатами ручных измерений и 3D-сканирования: различия по 8 из 18 пространственных параметров стопы указывали на большую точность цифровых технологий [41].

Исследование J. Zhao и S. Xiong (2008), ориентированное на прикладные задачи обувного проектирования, выявило минимальные расхождения (<5 мм) между 3D-сканированием и традиционными методами, что стало важным доказательством практической применимости технологии при серийном производстве обуви [42].

К 2010 году накопившийся массив данных позволил группе зарубежных исследователей провести обзор, оценивающий возможности 3D-сканирования стопы для применения в ортопедии, обувной промышленности и других эргономических целях. На основе метаанализа 38 научных статей было установлено, что 3D-сканирование обеспечивает более точное и быстрое получение морфометрических данных стопы по сравнению с традиционными методами, а также позволяет изучать динамические изменения формы стопы при нагрузке. Исследователи также отметили практическую эффективность для персонализированного изготовления обуви и ортопедических изделий, сокращающую сроки производства [43]. Дальнейшие работы укрепили эти выводы.

Так, L.K. Noldner и H.J.H. Edgar. (2013), сравнив 2D-сканирование, 3D-сканирование и ручные замеры, однозначно определили 3D-сканирование как метод, минимизирующий погрешность измерений и обеспечивающий наивысшую точность в изучении морфологии стопы [44]. Работа Yu-Chi Lee и соавт. (2014) расширила этот вывод, доказав, что 3D-сканирование обеспечивает наиболее полный и информативный набор морфометрических данных стопы не только по сравнению с методом, использующим

цифровой штангенциркуль, но и с методами цифрового и чернильного отпечатка стопы [45]. Современные исследования продолжают демонстрировать надежность технологии даже в сложных случаях. Исследование J. Mueller и соавт. (2023), сфокусированное на педиатрической практике (277 детей), подтвердило более высокую точность 3D-сканирования для оценки анатомических параметров стопы по сравнению с 2D-сканированием и ручными замерами, подчеркнув его валидность для клинического применения [46].

Проведенный анализ современных методов исследования стопы позволяет сделать следующие выводы, имеющие существенное значение для науки и клинической практики.

1. *Синергия методов.* Ни один метод не предоставляет исчерпывающей диагностической информации. Будущее диагностики связано со стратегической комбинацией традиционных и цифровых технологий. Клинический осмотр остается отправной точкой, но требует дальнейшей структуризации для снижения субъективности. Рентгенография сохраняет ключевую роль в оценке костной патологии, но должна дополняться РКТ для сложных случаев и 3D-реконструкцией. Функциональная оценка немыслима без компьютерной плантографии и 3D-сканирования. МРТ и УЗИ являются методами выбора для патологии мягких тканей.

2. *Преимущества цифровизации.* Компьютерная плантография и 3D-сканирование обеспечивают беспрецедентную точность, объективность и скорость получения морфометрических и функциональных данных, минимизируя человеческий фактор. Они формируют основу для создания обширных стандартизированных баз данных, необходимых для научных исследований и разработки нормативов.

3. *Персонализация 3D-технологии* открывает новые горизонты в персонализированной медицине, делая экономически и технически оправданным изготовление индивидуальных ортезов, стелек и обуви, точно соответствующих анатомии и биомеханике конкретного пациента. Это напрямую повышает эффективность консервативного лечения и реабилитации.

4. *Перспективы.* Интеграция данных различных методов (например, совмещение данных о нагрузке с компьютерной плантографии с 3D-сканированием или WBCT) с применением технологий искусственного интеллекта для анализа представляет наиболее перспективное направление. Это позволит не только улучшить диагностику, но и прогнозировать развитие патологий и оптимизировать лечебные стратегии. Снижение стоимости и повышение доступности цифровых комплексов — ключевая задача для их широкого внедрения в рутинную клиническую практику.





Таким образом, будущее диагностики состояния стопы определяется не заменой, а синергией традиционных и цифровых методов в рамках единой диагностической экосистемы. Такой подход обеспечивает комплексную, объективную и персонализированную оценку состояния стопы, способствуя повышению эффективности профилактики, лечения и реабилитации пациентов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Автор** прочитал и одобрил финальную версию перед публикацией.

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**The author** read and approved the final version before publication.

**Competing interests.** The author declares no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Краюшкин А.И., Перепелкин А.И., Царапкин Л.В., Елисева О.Г., Сивик В.В. Исследование морфофункциональных показателей стопы в возрастном аспекте. *Вестник новых медицинских технологий*. 2008;15(1):92–94.
2. Лашковский В.В., Мармыш А.Г. Детская и подростковая подиатрия — современные подходы к диагностике и лечению заболеваний стоп. *Новости хирургии*. 2011;19(2):94–100.
3. Гавриков К.В., Мандриков В.Б., Клаучек С.В., Воробьев А.А., Перепелкин А.И., Шкляр А.Л. Технология компьютерной плантографии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2007;14(4):144–145.
4. Конарева Ю.С. О распространенных методах диагностики деформаций стоп человека. Технологии, дизайн, наука, образование в контексте инклюзии: Сборник научных трудов. ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)». Т. 2. М.: 2018; 54–63.
5. Коновалова Н.Г., Масленникова В.Г. Всегда ли плоскостопие — анатомо-функциональный дефект стопы? *Политравма*. 2014;2:58–64.
6. Недопекин А.Е., Жилин В.В. Метод определения плоскостопия деформации стопы на основе анализа изображения. *Научный результат. Информационные технологии*. 2024;9(4):65–73. <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2024-9-4-0-8>.
7. Калинина М.Л., Шехтман А.Г., Железнов Л.М. Функциональные методы исследования стопы в современной медицинской практике. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(3):212.
8. Sukprasert O., Jongrak T., Seelaprom J., Taesawat N., Kormolkul A., Sonthavil S., Boonyarom O. Effects of foot muscle exercise on hard and elastic surfaces in persons with low-arched feet. *Suranaree Journal of Science & Technology*. 2022;29(3):1–7.
9. Grujic L., Stephens A. Arthroereisis and pes planovalgus. Tool of the devil or novel implant? *Fuß & Sprunggelenk*. 2020;18(1):13–19. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2020.01.003>.
10. Papaliadis D.N., Vanushkina M.A., Richardson N.G., DiPreta J.A. The foot and ankle examination. *Med Clin North Am*. 2014; 98(2):181–204. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2013.10.001>.
11. Мартиросов Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии. М.: Физкультура и спорт; 1982.
12. Салихов Р.З., Плаксейчук Ю.А., Панков И.О., Соловьев В.В., Кузнецова Р.Г. Цифровая фотометрическая плантография в комплексном лечении пациентов с тяжелыми последствиями повреждений голеностопного сустава. *Практическая медицина*. 2013;1-2(69):130–132.
13. Forriol F., Pascual J. Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot Ankle*. 1990;11(2):101–104. <https://doi.org/10.1177/107110079001100208>.
14. Angelova M., Marinova D., Zhekova V., Pavlov S. Association between foot arch index and other morphometric indices. *Acta Morphologica et Anthropologica*. 2023;30(3-4):61–66. <https://doi.org/10.7546/ama.30.3-4.2023.08>.
15. Gonzalez-Martin C., Pita-Fernandez S., Seoane-Pillado T., Lopez-Calviño B., Pertega-Diaz S., Gil-Guillen V. Variability between Clarke's angle and Chippaux-Smirak index for the diagnosis of flat feet. *Colomb Med (Cali)*. 2017;48(1):25–31.
16. Orlin M.N. Plantar pressure assessment. *Phys Ther*. 2000; 80(4):399–409. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.4.399>.
17. Никитюк И.Е., Виссарионов С.В. Нарушение функции стоп у детей с тяжелыми формами спондилолистеза L5 позвонка. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(2):71–80. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-2-71-80>.
18. Гарбуз И.Ф., Леонтьев В.Ф. Компьютерная плантография как метод диагностики заболеваний стопы. *Успехи современного естествознания*. 2010;(12):54.
19. Saveko A., Amirova L., Ermakov I., Smirnov Y., Tomilovskaya E., Kozlovskaya I. Effect of 5-day dry immersion on the human foot morphology evaluated by computer plantography and soft tissues stiffness measuring. *Scientific reports*. 2021;11(1):6232. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85771-9>.
20. Никитюк И.Е., Никитин М.С., Кононова Е.Л., Афоничев К.А. Восстановление опорной функции нижних конечностей у детей с послеожоговыми рубцовыми деформациями тыла



- стопы после хирургического лечения. *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2018;(4):23–27.
21. Эранов Н.Ф., Эранов Ш.Н. Диагностика и лечения плоскостопия у детей. *Re-health journal*. 2020;2-2(6):60–62.
  22. Перепелкин А.И. Компьютерная плантография в оценке анатомических параметров стопы. В кн.: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности». Т. 1. Тамбов; 2015: 107–109.
  23. Смирнова Л.М. Технология и системы для комплексной оценки состояния опорно-двигательного аппарата и контроля эффективности коррекции его нарушений. *Биотехносфера*. 2015;41(5):46–54.
  24. Корягина Ю.В., Абуталимова С.М., Рогалева Л.Г., Нопин С.В., Копанев А.Н. Функциональное состояние опорно-двигательного аппарата детей 6–10 лет, не занимающихся спортом. *Современные вопросы биомедицины*. 2019;3(4): 75–88.
  25. Tischer T., Oye S., Wolf A., Feldhege F., Jacksteit R., Mittelmeier W., Bader R., Mau-Moeller A. Measuring lower limb circumference and volume — introduction of a novel optical 3D volumetric measurement system. *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*. 2020;65(2):237–241. <https://doi.org/10.1515/bmt-2018-0100>.
  26. Banwell H.A., Paris M.E., Mackintosh S., Williams C.M. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res*. 2018;11(1):21. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0264-3>.
  27. Abousayed M.M., Alley M.C., Shakked R., Rosenbaum A.J. Adult-acquired flatfoot deformity: etiology, diagnosis, and management. *JBJS Reviews*. 2017;5(8):e7. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.16.00116>.
  28. Christman R.A. Radiographic anatomy foot and ankle-part 5. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2015; 105(2):141–149. <https://doi.org/10.7547/0003-0538-105.2.141>.
  29. Кишковский А.Н., Тютин Л.А., Есиновская Г.Н. Атлас укладок при рентгенологических исследованиях. Л.: Медицина; 1987.
  30. Меллер Т.Б., Райф Э. Атлас рентгенологических укладок. Л.: Медицинская литература; 2005.
  31. Серова Н.С., Беляев А.С., Бобров Д.С., Терновой К.С. Современная рентгенологическая диагностика приобретенного плоскостопия взрослых. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017;98(5):275–280. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2017-98-5-275-280>.
  32. Berkeley R., Tennant S., Saifuddin A. Multimodality imaging of the paediatric flatfoot. *Skeletal radiology*. 2021;50(11):2133–2149. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03806-8>.
  33. Tuominen E.K., Kankare J., Koskinen S.K., Mattila K.T. Weight-bearing CT imaging of the lower extremity. *Am J Roentgenol*. 2013;200(1):146–148. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.8481>.
  34. Cesar de Netto C., Saito G.H., Roney A., Day J., Greditzer H., Sofka C., Ellis S.J., Deland J. Combined weightbearing CT and MRI assessment of flexible progressive collapsing foot deformity. *Foot Ankle Surg*. 2021;27(8):884–891. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.12.003>.
  35. Rosenberg Z.S., Beltran J., Bencardino, J.T. From the RSNA Refresher Courses. Radiological Society of North America. MR imaging of the ankle and foot. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc*. 2000;20(Suppl 1):153–179. [https://doi.org/10.1148/radiographics.20.suppl\\_1.g00oc26s153](https://doi.org/10.1148/radiographics.20.suppl_1.g00oc26s153).
  36. Jiang Z., Zhang Q., Ren L., Qian Z. Non-invasive and quantitative analysis of flatfoot based on ultrasound. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:961462. <https://doi.org/10.1148/10.3389/fbioe.2022.961462>.
  37. Парфенов В.О., Борисов О.В. Информативность лучевых методов диагностики при визуализации стопы. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2018;8(11):550–553.
  38. Tamborini G., Bianchi, S. Ultraschall des Fusses (adaptiert nach SGUM-Richtlinien). *Praxis*. 2020;109(13):1074–1084. <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003541>.
  39. Княгичева Н.В., Голованов С.А., Киселев С.Ю., Шевченко А.В. Применение 3D-сканирования при проведении антропометрических исследований стоп. *Дизайн и технология*. 2016;53(95):31–39.
  40. De Mits S., Coorevits P., De Clercq D., Elewaut D., Woodburn J., Roosen P. Reliability and validity of the INFOOT 3D foot digitizer for normal healthy adults. *Footwear Science*. 2010;2(2):65–75.
  41. Witana C.P., Xiong S., Zhao J., Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: a comparison and evaluation of different methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2006;36(9):789–807. <https://doi.org/10.1016/J.ERGON.2006.06.004>.
  42. Zhao J., Xiong S., Bu Y., Goonetilleke R.S. Computerized girth determination for custom footwear manufacture. *Computers & Industrial Engineering*. 2008;54(3):359–373.
  43. Telfer S., Woodburn J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. *J Foot Ankle Res*. 2010;3(1):19. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-19>.
  44. Noldner L.K., Edgar H.J. Technical note: 3D representation and analysis of enthesis morphology. *Am J Phys Anthropol*. 2013;152(3):417–424. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22367>.
  45. Lee Y.C., Lin G., Wang M.J. Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *J Foot Ankle Res*. 2014;7(1):44. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0044-7>.
  46. Mueller J., Richter M., Schaefer K., Ganz J., Lohscheller J., Mueller S. How to measure children's feet: 3D foot scanning compared with established 2D manual or digital methods. *J Foot Ankle Res*. 2023;16(1):21. <https://doi.org/10.1186/s13047-023-00618-y>.

## REFERENCES

1. Krayushkin A.I., Perepelkin A.I., Tsarapkin L.V., Elisseyeva O.G., Sivik V.V. The investigation of morphofunctional data of the foot



- in age-associated aspect. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2008;15(1):92–94. (In Russian).
2. Lashkovskiy V.V., Marmysh A.G. Pediatric and adolescent podiatry — modern approaches to the diagnosis and treatment of foot diseases. *Novosti Khirurgii*. 2011;19(2):94–100. (In Russian).
  3. Gavrikov K.V., Mandrikov V.B., Klauchek S.V., Vorobiev A.A., Perepelkin A.I. Shklyar A.L. The technology of computer-aided plantography. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2007;14(4):144–145. (In Russian).
  4. Konareva Yu.S. O rasprostranennykh metodah diagnostiki deformatsiy stop cheloveka. *Tehnologii, dizajn, nauka, obrazovanie v kontekste inkluzii: Sbornik nauchnykh trudov. FGBOU VO "Rossijskij gosudarstvennyj universitet imeni A.N. Kosygina (Tehnologii. Dizajn. Iskusstvo)". Vol. 2. Moscow; 2018; 54–63. (In Russian).*
  5. Konovalova N.G., Maslennikova V.G. Is platypodia always an anatomic and functional defect of the foot? *Politravma*. 2014;2:58–64. (In Russian).
  6. Nedopekin A.E., Zhilin V.V. Method for determining flat-valgus deformity of the foot based on image analysis. *Research result. Information Technologies*. 2024;9(4):65–73. (In Russian). <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2024-9-4-0-8>.
  7. Kalinina M.L., Shekhtman A.G., Zheleznov L.M. Functional methods of research of the foot in modern medical practice. *Modern problems of science and education*. 2015;3:212. (In Russian).
  8. Sukprasert O., Jongrak T., Seelaprom J., Taesawat N., Komolkul A., Somthavil S., Boonyarom O. Effects of foot muscle exercise on hard and elastic surfaces in persons with low-arched feet. *Suranaree Journal of Science & Technology*. 2022;29(3):1–7.
  9. Grujic L., Stephens A. Arthroereisis and pes planovalgus. Tool of the devil or novel implant? *Fuß & Sprunggelenk*. 2020;18(1):13–19. <https://doi.org/10.1016/j.fuspru.2020.01.003>.
  10. Papaliadis D.N., Vanushkina M.A., Richardson N.G., DiPreta J.A. The foot and ankle examination. *Med Clin North Am*. 2014;98(2):181–204. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2013.10.001>.
  11. Martirosov E.G. Research methods in sports anthropology. Moscow: Fizkultura i sport; 1982: 199. (In Russian).
  12. Salikhov R.Z., Plakseychuk Yu.A., Pankov I.O., Solovov V.V., Kuzhetsova R.G. Digital photometric plantography in comprehensive treatment of patients with drastic damage results of ankle joint. *Practical Medicine*. 2013;1-2(69):130–132. (In Russian).
  13. Forriol F., Pascual J. Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot Ankle*. 1990;11(2):101–104. <https://doi.org/10.1177/107110079001100208>.
  14. Angelova M., Marinova D., Zhekova V., Pavlov S. Association between foot arch index and other morphometric indices. *Acta Morphologica et Anthropologica*. 2023;30(3-4):61–66. <https://doi.org/10.7546/ama.30.3-4.2023.08>.
  15. Gonzalez-Martin C., Pita-Fernandez S., Seoane-Pillado T., Lopez-Calviño B., Pertega-Diaz S., Gil-Guillen V. Variability between Clarke's angle and Chippaux-Smirak index for the diagnosis of flat feet. *Colomb Med (Cali)*. 2017;48(1):25–31.
  16. Orlin M.N. Plantar pressure assessment. *Phys Ther*. 2000;80(4):399–409. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.4.399>.
  17. Nikityuk I.E., Vissarionov S.V. Foot function Disorders in children with Severe Spondylolisthesis of L5 Vertebra. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(2):71–80. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-2-71-80>.
  18. Garbuz I.F., Leontyev V.F. Computerized plantography as a method for diagnosing foot diseases. *Advances in Current Natural Sciences*. 2010;(12):54. (In Russian).
  19. Saveko A., Amirova L., Ermakov I., Smirnov Y., Tomilovskaya E., Kozlovskaya I. Effect of 5-day dry immersion on the human foot morphology evaluated by computer plantography and soft tissues stiffness measuring. *Scientific reports*. 2021;11(1):6232. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85771-9>.
  20. Nikityuk I.E., Nikitin M.S., Kononova E.L., Afonichev K.A. Restoration of the support function of lower limbs in children with postburn scar deformities of dorsal foot after surgical treatment. *Volgograd Journal of Medical Research*. 2018;(4):23–27. (In Russian).
  21. Jeranov N.F., Jeranov Sh.N. Diagnosis and treatment of flatness in children. *Re-health journal*. 2020;2-2(6):60–62. (In Russian).
  22. Perepyelkin A.I. Kompjuternaya plantografija v ocenke anatomicheskikh parametrov stopy. In: Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Aktualnye voprosy v nauchnoj rabote i obrazovatelnoj dejatelnosti". Vol. 1. Tambov. 2015; 107–109. (In Russian).
  23. Smirnova L.M. Technology and systems for the complex estimation of the musculoskeletal system and the its correction. *Biotehnosfera*. 2015;5(41):46–54. (In Russian).
  24. Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Roguleva L.G., Nopin S.V., Kopanev A.N. The functional state of the musculoskeletal system of children 6–10 years old not involved in sports. *Modern Issues of Biomedicine*. 2019;3(4):75–88. (In Russian).
  25. Tischer T., Oye S., Wolf A., Feldhege F., Jacksteit R., Mittelmeier W., Bader R., Mau-Moeller A. Measuring lower limb circumference and volume — introduction of a novel optical 3D volumetric measurement system. *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*. 2020;65(2):237–241. <https://doi.org/10.1515/bmt-2018-0100>.
  26. Banwell H.A., Paris M.E., Mackintosh S., Williams C.M. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res*. 2018;11(1):21. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0264-3>.
  27. Abousayed M.M., Alley M.C., Shakked R., Rosenbaum A.J. Adult-acquired flatfoot deformity: etiology, diagnosis, and management. *JBJS Reviews*. 2017;5(8):e7. <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.16.00116>.
  28. Christman R.A. Radiographic anatomy foot and ankle-part 5. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2015; 105(2):141–149. <https://doi.org/10.7547/0003-0538-105.2.141>.
  29. Kishkovskij A.N., Tjutin L.A., Esinovskaja G.N. Atlas of positions for radiographic examinations. Leningrad: Meditsina; 1987.





30. Moller T.B., Reif E. Pocket Atlas of Radiographic Positioning. Moscow: Meditsinskaya literature; 2005. (In Russian).
31. Serova N.S., Belyaev A.S., Bobrov D.S., Ternovoy K.S. Modern X-ray diagnosis of adult acquired flatfoot deformity. *Journal of radiology and nuclear medicine*. 2017;98(5):275–280. (In Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2017-98-5-275-280>.
32. Berkeley R., Tennant S., Saifuddin A. Multimodality imaging of the paediatric flatfoot. *Skeletal radiology*. 2021;50(11):2133–2149. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03806-8>.
33. Tuominen E.K., Kankare J., Koskinen S.K., Mattila K.T. Weight-bearing CT imaging of the lower extremity. *Am J Roentgenol*. 2013;200(1):146–148. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.8481>.
34. Cesar de Netto C., Saito G.H., Roney A., Day J., Greditzer H., Sofka C., Ellis S.J., Deland J. Combined weightbearing CT and MRI assessment of flexible progressive collapsing foot deformity. *Foot Ankle Surg*. 2021;27(8):884–891. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.12.003>.
35. Rosenberg Z.S., Beltran J., Bencardino, J.T. From the RSNA Refresher Courses. Radiological Society of North America. MR imaging of the ankle and foot. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc*. 2000;20(Suppl 1):153–179. [https://doi.org/10.1148/radiographics.20.suppl\\_1.g00oc26s153](https://doi.org/10.1148/radiographics.20.suppl_1.g00oc26s153).
36. Jiang Z., Zhang Q., Ren L., Qian Z. Non-invasive and quantitative analysis of flatfoot based on ultrasound. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:961462. <https://doi.org/10.1148/10.3389/fbioe.2022.961462>.
37. Parfenov V.O., Borisov O.V. Informativeness of radiological diagnostic methods in visualization of the foot. *Bulletin of Medical Internet Conferences*. 2018;8(11):550–553. (In Russian).
38. Tamborini G., Bianchi, S. Ultraschall des Fusses (adaptiert nach SGUM-Richtlinien). *Praxis*. 2020;109(13):1074–1084. (In German). <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003541>.
39. Kniagicheva N.V., Golovanov S.A., Kiselev S.Yu., Shevchenko A.V. The use of 3D-scanning during anthropometric research of the foets. *Dizajn i tehnologii*. 2016;53(95):31–39. (In Russian).
40. De Mits S., Coorevits P., De Clercq D., Elewaut D., Woodburn J., Roosen P. Reliability and validity of the INFOOT 3D foot digitizer for normal healthy adults. *Footwear Science*. 2010;2(2):65–75.
41. Witana C.P., Xiong S., Zhao J., Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: a comparison and evaluation of different methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2006;36(9):789–807. <https://doi.org/10.1016/J.ERGON.2006.06.004>.
42. Zhao J., Xiong S., Bu Y., Goonetilleke R.S. Computerized girth determination for custom footwear manufacture. *Computers & Industrial Engineering*. 2008;54(3):359–373.
43. Telfer S., Woodburn J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. *J Foot Ankle Res*. 2010;3(1):19. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-3-19>.
44. Noldner L.K., Edgar H.J. Technical note: 3D representation and analysis of entheses morphology. *Am J Phys Anthropol*. 2013;152(3):417–424. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22367>.
45. Lee Y.C., Lin G., Wang M.J. Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *J Foot Ankle Res*. 2014;7(1):44. <https://doi.org/10.1186/s13047-014-0044-7>.
46. Mueller J., Richter M., Schaefer K., Ganz J., Lohscheller J., Mueller S. How to measure children's feet: 3D foot scanning compared with established 2D manual or digital methods. *J Foot Ankle Res*. 2023;16(1):21. <https://doi.org/10.1186/s13047-023-00618-y>.

## Об авторах

\* **Константин Юрьевич Череповский** — ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии имени А.Н. Шкондина. E-mail: [cherepovskiy.konstantin@yandex.ru](mailto:cherepovskiy.konstantin@yandex.ru); <https://orcid.org/0009-0003-5558-0698>; SPIN: 3536-3406

\* Автор, ответственный за переписку.  
Corresponding author.

## Authors' info

\* **Konstantin Yu. Cherepovsky** — Assistant of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy named after A.N. Shkondin. E-mail: [cherepovskiy.konstantin@yandex.ru](mailto:cherepovskiy.konstantin@yandex.ru); <https://orcid.org/0009-0003-5558-0698>; SPIN: 3536-3406