

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ АНАТОМИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПЛЮСНЕВЫХ КОСТЕЙ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА Зеркалова Я.И.

Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия, e-mail: zerkalova.yana@mail.ru

Для цитирования:

Зеркалова Я.И. Научно-практическое значение исследований анатомической изменчивости плюсневых костей стопы человека. Морфологические ведомости. 2025;33(2):960. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025;33\(2\):960](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025;33(2):960)

Резюме. В научно-практическом аспекте значимость результатов остеографических и остеометрических исследований в области идентификации скелетных останков и идентификации личности в целом трудно переоценить, несмотря на соответствующие достижения современных молекулярно-генетических методов. Однако трудоемкость, затратность и точность последних до сих пор оставляют желать лучшего, а результативность не превышает результативность классических методов судебно-медицинской и археологической диагностики, поэтому остеометрия, как прямая, так и рентгеновская, остаются «золотым стандартом» идентификации костных элементов скелета человека. Цель исследования - обобщить имеющиеся данные отечественной и зарубежной научной литературы по количественной анатомической изменчивости плюсневых костей человека по данным прямой и непрямой рентгеновской остеометрии и ее научно-практической значимости. Материалом для исследования послужили источники зарубежной и отечественной литературы с 1983 по 2025 годы. Критерием включения в исследование служили присутствие источников в сертифицированных базах данных, их индексирование в отечественных и мировых библиографических базах научных данных. Источники отбирались по следующим ключевым словам: скелет стопы, плюсна, плюсневые кости, кости стопы (человека), остеометрия, рентгеновская остеометрия, компьютерная томография стопы, foot skeleton, metatarsus, metatarsal bones, foot, human foot bones, osteometry, x-ray osteometry, foot computed tomography и некоторым другим. Всего было отобрано 66 источников. Использован описательный метод анализа. Обобщены современные данные сравнительно-анатомических особенностей изменчивости скелета стопы и метаподия человека и гоминид. Доказано, что анатомическая изменчивость как прямых, так и рентгеновских остеометрических показателей плюсневых костей стопы человека играет существенную роль в идентификации пола, возраста, роста, в ряде случаев этнических и расовых особенностей. Полученные в последние десятилетия результаты исследований помимо их применения для биоидентификации в антропологии и судебной медицине, могут быть использованы для разработки нормативных показателей, необходимых для диагностики различных заболеваний и состояний, а также для планирования хирургических вмешательств и создания индивидуализированных ортопедических изделий.

Ключевые слова: стопа человека, метаподий стопы, плюсневые кости, остеометрия, биоидентификация

Статья поступила в редакцию 28 февраля 2025

Статья принята к публикации 20 июня 2025

THE SCIENTIFIC AND PRACTICAL SIGNIFICANCE OF HUMAN FOOT METATARSAL BONES ANATOMICAL VARIABILITY STUDIES Zerkalova YaI

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia, e-mail: zerkalova.yana@mail.ru

For the citation:

Zerkalova YaI. The Scientific and practical significance of human foot metatarsal bones anatomical variability studies. *Morfologicheskie Vedomosti – Morphological newsletter*. 2025;33(2):960. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025;33\(2\):960](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025;33(2):960)

Summary. In the scientific and practical aspect, the significance of the osteological and osteometry studies results in the field of identification of skeletal remains and identification of individuals in general is difficult to overestimate, despite the corresponding achievements of modern molecular and genetic methods. However, the labor intensity, cost and accuracy of the latter still leave much to be desired, and the effectiveness does not exceed the effectiveness of classical methods of forensic and archaeological diagnostics, therefore osteometry, both direct and X-ray, remains the «gold standard» for identifying bone elements of the human skeleton. The purpose of the study is to summarize the available data of domestic and foreign scientific literature on the quantitative anatomical variability of human metatarsal bones according to direct and indirect X-ray osteometry and its scientific and practical significance. The material for the study was foreign and domestic literature sources from 1983 to 2025. The inclusion criterion for the study was the presence of sources in certified databases, their indexing in domestic and world bibliographic databases of scientific data. The sources were selected by the following keywords: foot skeleton, metatarsu6, metatarsal bones, foot, human foot bones, osteometry, x-ray osteometry, foot computed tomography and some others. A total of 66 sources were selected. A descriptive method of analysis was used. Modern data on comparative anatomical features of variability of the foot skeleton and metapodia of humans and hominids are summarized. It is proven that anatomical variability of both direct and x-ray osteometry indices of the metatarsal bones of the human foot plays a significant role in the sex, age, height, and in some cases ethnic and racial characteristics identifying. The research results obtained in recent decades, in addition to their application for bio-identification in anthropology and forensic medicine, can be used to develop normal indicators necessary for the diagnosis of various diseases and conditions, as well as for planning surgical interventions and creating individualized orthopedic products.

Keywords: human foot, foot metapodium, metatarsal bones, osteometry, bio-identification

Article received 28 February 2025

Article accepted 20 June 2025

[https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025;33\(2\):960](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025;33(2):960)

Введение. Анатомическая изменчивость опорно-двигательного аппарата в отечественной анатомии всегда оставалась одной из приоритетных исследовательских областей. Однако научные акценты современной анатомии человека существенно сместились на иные исследовательские области по ряду как объективных, так и субъективных причин. В последние два десятилетия подробные исследования скелета нижних конечностей в нашей стране проводились исключительно аспирантами и сотрудниками кафедры анатомии человека медицинского факультета Ульяновского государственного университета, которые в связи с их редкостью и значимостью были поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований. Была создана верифицированная база данных прямой остеометрии, выполнен ряд успешных диссертационных исследований. Были исследованы не только остеографические и остеометрические показатели скелетных элементов стопы [1-10], но и проводились исследования гомологичных элементов кисти [11-14], а также их обуславливающего влияния на форму дистальных отделов конечностей [15-17], маркерных показателей процессов их морфогенеза [18-19]. При этом, следует отметить, что не все вопросы анатомии скелета стопы современного человека были решены в полном объеме. Остались не изученными вопросы анатомической изменчивости костей акроподия, в частности, изменчивости основных фаланг, плюсны, дистального ряда костей базиподия, осталась не изученной сравнительная эффективность прямых и непрямых (рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии и других) методов для изучения анатомической изменчивости скелета стопы.

Безусловно, в современных реалиях жизни общества, в научно-практическом аспекте значимость результатов остеографических и остеометрических исследований намного выше в области идентификации скелетных останков и идентификации личности в целом, несмотря на соответствующие достижения молекулярно-генетических методов [20]. При этом трудоемкость, затратность и точность послед-

них до сих пор оставляют желать лучшего, а результативность не превышает результативность классических методов судебно-медицинской и археологической диагностики, поэтому остеометрия, как прямая, так и рентгеновская, остаются «золотым стандартом» идентификации костных элементов скелета человека [21].

В разработке общей методологии и теории таких методов в нашей стране имеются существенные достижения. Одной из научных школ, в которой они разрабатываются является школа члена-корреспондента РАН, профессора Ю.И. Пиголкина [22]. Пиголкин с соавт. (2020), исследовав возрастные изменения соединительной, хрящевой, нервной и костной тканей, дали методологическое обоснование и объективизацию биологических маркеров старения для судебно-медицинской идентификации личности в случаях чрезвычайных ситуаций [22]. Авторы представили концепцию цифровой судебно-медицинской диагностики возраста, общие закономерности развития и некоторые отличия возрастной адаптации этих тканей, включающие явления гетерохронии, гетеротропии и гетерогенности. Эти данные позволяют совершенствовать методы количественной возрастной морфологии, цифровых технологий и формировать технологическую базу для регистрации идентификационных биологических признаков [22].

Робастность каждого из морфометрических показателей скелета, включая остеометрический анализ скелета стопы, зависит от типа телосложения человека [23], множества эндогенных и экзогенных факторов и их сочетанного воздействия, одним из таких факторов является минеральная плотность. Свешников (2012) исследовал вопрос о половых различиях минеральной плотности костей (далее – МПК) в возрасте от 3 до 85 лет [24]. Было обследовано 14141 здоровых людей, проживающих на территории Уральского региона, проанализированы изменения массы костных минералов в зависимости от возраста. Наименьшее возрастное снижение массы минералов происходит в костях верхних конечностей, затем в костях нижних конечностей, а ранние признаки осте-

опороза и остеопения более характерны для лиц женского пола [24-25]. Научно-практическая значимость исследований костного скелета стопы человека продолжает представлять интерес не только в проблеме биоидентификации, но и в целом ряде сравнительно-анатомических и клинических аспектов.

Цель исследования: обобщить имеющиеся данные отечественной и зарубежной научной литературы по количественной анатомической изменчивости плюсневых костей человека по данным прямой и непрямой остеометрии и ее научно-практической значимости.

Материалы и методы исследования. Материалом для исследования послужили источники зарубежной и отечественной литературы с 1983 по 2025 годы. Были проанализированы источники медицинских, археологических и антропологических данных, статей, материалов конференций, диссертаций на английском и других языках, в том числе имеющих англоязычные варианты перевода, отобранные сплошным (не избирательным) способом. Критерием включения в исследование служили присутствие источников в сертифицированных базах данных, их индексирование в отечественных и мировых библиографических базах научных данных (e-library, РИНЦ, РЦНИ, Pubmed, Scopus, Clarivate Analytics, EBSCO и других). Источники отбирались по следующим ключевым словам: скелет стопы, плюсна, плюсневые кости, кости стопы (человека), остеометрия, рентгеновская остеометрия, компьютерная томография стопы, foot skeleton, metatarsus, metatarsal bones, foot, human foot bones, osteometry, x-ray osteometry, foot computed tomography и некоторым другим. Всего было отобрано 66 источников. Использован описательный метод анализа.

Результаты и обсуждение.

Сравнительно-анатомические особенности изменчивости скелета стопы и метаподия человека и гоминид

Прямохождение человека и некоторых гоминид повлекло за собой множество преобразований стопы по сравнению

с таковой у других позвоночных животных [26]. Стопа с характерными для нее изгибами (сводами) присуща для людей, отличая их от других приматов. Своды стопы помогают поддерживать вертикальное положение и выдерживать вес, стопа человека имеет два продольных (медиальный и латеральный) и два поперечных свода (передний и задний поперечные своды). Эти своды формируются предплюсневыми и плюсневыми костями и поддерживаются связками и мышцами стопы. Медиальный свод стопы имеет наибольшую высоту, в то время как среди поперечных сводов передний является наиболее полным, в то время как задний свод имеет форму полукуполола и не полный. Эти своды придают подошве вогнутость и обеспечивают гибкую платформу для поддержки веса тела, а также действуют как амортизаторы при ходьбе, беге и прыжках, адаптируя стопу к неровным поверхностям [26-27].

Различия в относительных размерах костей могут предоставить полезную дополнительную информацию о анатомических взаимоотношениях стопы гоминид и человека, что делает целесообразным сравнительное изучение костей стопы у человека и других приматов и млекопитающих. Как известно, метаподий стопы, является гомологом метаподия пяти. В этом смысле более эффективным является не отдельный анализ скелетных элементов только метаподия стопы, но и сравнение его с метаподием кисти несмотря на то, что для человека это весьма проблематично в связи с общей высокой специфичностью как скелета пояса, так и скелета верхней конечности в целом.

Так, в двух коллекциях скелетов бабуинов (животных, живших в дикой природе и в неволе) были измерены длина и вес пястных и плюсневых костей [28-29]. Как для длины, так и для веса были рассчитаны соотношения для всех возможных сочетаний пяти костей метаподия в каждой отдельной конечности. В обеих группах имелись существенные половые различия в направлении меньшего соотношения длины или веса костей у самцов, чем у самок. Что касается соотношений длин, показывающих наибольшие поло-

вые различия, то эти различия были больше по величине для правой верхней конечности, чем для левой, и больше для левой нижней конечности, чем для правой, но эта закономерность была менее очевидна для соотношений веса. Некоторые соотношения длины костей скелета человеческих пальцев показывают половые различия, подобные тем, которые наблюдаются в пястных и плюсневых костях исследованных бабуинов, но человеческие различия в относительной длине существуют уже в раннем возрасте. Подразумевается, что заметные половые различия в воздействии андрогенов во время внутриутробного развития могут влиять на относительный размер отдельных костей конечностей у самцов и самок бабуинов, также как и у плода человека [28-29].

III-и и особенно IV-е пястные кости африканских человекообразных обезьян, ходящих на нижних конечностях, относительно мощнее, чем у людей и орангутанов, а V-я плюсневая кость у человека относительно мощнее, чем у человекообразных обезьян [30]. Размеры поперечного сечения пястных и плюсневых костей зависят от режимов движения у человекообразных обезьян и человека. Такого рода результаты предоставляют возможность сравнения морфологии окаменелостей стопы для получения представления о паттернах двигательной активности вымерших таксонов человека, а не только современных людей.

Так, например, при многомерном морфометрическом анализе и сравнении окаменелости гоминида из Swartkrans с первыми плюсневыми костями современных людей и сохранившихся человекообразных обезьян было обнаружено, что наибольшая доля различий заключается в различных двигательных функциях - у обезьян, с одной стороны, и у людей и ископаемых гоминид - с другой [31]. Будучи частично прямоходящими, древние гоминиды уже обладали уникальным механизмом отталкивания пальцев. Из этого следует, что, морфометрический анализ не обязательно напрямую отражает описанные примитивные и производные признаки, но связанный с ними функциональный паттерн сохраняется в рамках

более широкой изменчивости морфологии костей стопы [31].

В тоже время, изучение робастности (устойчивости к влиянию различных факторов, вызывающих экстремальные значения) показателей диафиза пястных и плюсневых костей и их корреляции с локомоторным и другим поведением у японских макак не подтвердило это положение. Не было выявлено корреляции между робастностью показателей диафиза и пиковой силой нагрузки костей как у самцов, так и у самок японских макак. Кроме этого, не было четкой разницы в прочности между 2-5 плюсневыми костями у животных обоего пола [32]. При определении половой принадлежности в палеоантропологических исследованиях костей верхней и нижней конечности было установлено, что вероятность правильной диагностики половой принадлежности скелетного материала повышается при увеличении числа остеометрических признаков, включаемых в анализ [33].

Однако изучение морфологии и количественных показателей костей стопы актуально не только в области сравнительной анатомии и палеонтологии. Более значительный интерес и внимание исследователи отдают диагностическим аспектам скелета метаподия стопы человека.

Анатомическая изменчивость остеометрических показателей плюсневых костей стопы человека в идентификации пола

Анатомическая изменчивость отдельных костных элементов стопы в определении половой принадлежности имеет разную диагностическую значимость. В основном и главным образом для целей диагностики пола исследователи используют возможности дискриминантного анализа. Разработаны уравнения линейной дискриминантной функции для определения пола на основе плюсневых костей современного греческого населения с целью выявления степени диморфизма, проявляемого плюсневыми костями [34]. Точность уравнений дискриминантной функции для определения пола колеблется от 80,7% до 90,1% (или 77,9-86,4% с перекрестной проверкой). Это ис-

следование в целом доказывает, что остеометрия плюсневых костей может быть использована для определения пола по скелетным останкам в дополнение к другим методам определения пола [34].

Особое положение в скелете метаподия стопы занимает первая плюсневая кость. Эта особенность имеет важное диагностическое значение во многих аспектах. Nyer et al. (2004) при прямой остеометрии для установления средних значений угла наклона проксимальной части первой плюсневой кости в зависимости от возраста, пола и этнической принадлежности были измерены общая длина первой плюсневой кости и ширина ее основания. Общий средний угол наклона составил $3,42^\circ$ в диапазоне от -3° до $+8^\circ$. Средний угол наклона у женщин составил $3,67^\circ$ в диапазоне от -3° до $+8^\circ$, в то время как у мужчин он составлял $3,3^\circ$ в диапазоне от -2° до $+7^\circ$. Средний угол наклона основания кости афроамериканских образцов составлял $3,0^\circ$ в диапазоне от 3° до 7° , в то время как средний угол наклона образцов европеоидов составлял $3,83^\circ$ в диапазоне от -2° до $+8^\circ$. Наклон основания первой плюсны увеличился с возрастом со среднего значения $3,5^\circ$ в самой молодой группе до $5,13^\circ$ в самой старшей. Для проксимального наклона первой плюсневой кости не было установлено разницы средних значений. Установленные величины рассматриваются авторами не только как маркеры этнических, возрастных и половых различий, но и как маркеры для определения наличия патологического наклона как причины возникновения *primus metatarsus varus* первой плюсневой кости [35].

Как известно, соотношение длин отдельных пар пальцев кисти и их сегментов различается у мужчин и женщин [15]. При исследовании закономерностей половых различий в относительной длине человеческих плюсневых костей скелетов европеоидного происхождения (89 мужчин и 50 женщин), аналогичных пястным, были выявлены существенные половые различия в некоторых соотношениях длины пястных костей [36]. Наибольшие половые различия были получены для трех соотношений, включающих V-ю пястную

кость на левой руке, в то время как половые различия для соотношения длин II и IV пястных костей были небольшими и несущественными для обеих рук у этих европейцев-американцев. Для скелетов же африканского происхождения (65 мужчин и 55 женщин) не было обнаружено половых различий ни в одном из 20 изученных соотношений длин пястных костей. Что же касается плюсневых костей, то ни одно из 20 соотношений не показало существенных половых различий ни для одной из групп скелетов. Таким образом существует явное несоответствие между соотношениями костных длин плюсневых и пястных костей [36].

Было показано, что анализ дискриминантной функции остеометрических данных плюсневых костей 200 скелетов обеспечивает надежный метод оценки пола [37]. Формулы тестировались на двух независимых образцах 25 и 12 скелетов правильно классифицировали от 83 до 100% каждого образца за несколькими исключениями независимо от расовой принадлежности. По данным прямой остеометрии установлена достоверная связь между полом человека, длиной и диаметром диафиза третьей плюсневой кости на выборке из 100 случаев (50 мужчин и 50 женщин) старше 18 лет с нормальным распределением значений [38]. Критерий знаковых рангов Вилкоксона для билатеральной асимметрии не выявил статистически значимой разницы между правой и левой плюсневыми костями, что указывает на относительно равномерное распределение физического напряжения между нижними конечностями. Это исследование показало, что точность определения пола третьей плюсневой кости составляет от 67% до 72%, и возрастает до 75% при сочетании переменных с обеих сторон. Средний диаметр диафиза оказывается лучшим индикатором пола человека [38].

При проведении всего пяти измерений (максимальная длина и четыре ширины) каждой пястной и плюсневой костей с использованием цифрового штангенциркуля были получены дискриминантные функции для установления пола при идентификации неизвестных лиц [39]. Авторами была проведена прямая остеометрия

метрия пястных и плюсневых костей 112 взрослых современных скелетов (49 женщин и 63 мужчин). Для пястных костей было разработано четырнадцать дискриминантных функций с процентным соотношением от 79,5% до 85,3% правильной половой классификации. Вторая пястная кость была наиболее диморфной в анализируемой выборке. Для плюсневых костей были получены пять дискриминантных функций с достоверностью от 77,8% до 83,2%. В этом случае наиболее диморфной была первая плюсневая кость. В целом ее диморфность была обусловлена показателями ширины как ее головки, так и основания [39].

Также, для идентификации пола, Bidmos с соавт. (2019) изучали возможности измерений плюсневых костей среди южноафриканских африканцев с использованием логистического и дискриминантного анализа [40]. Были проанализированы шесть измерений плюсневых костей 100 скелетов (50 мужчин и 50 женщин). Использовались плюсневые кости без каких-либо признаков переломов или патологических состояний, принадлежавшие только чернокожим субъектам. Различные комбинации измерений плюсневых костей дали достаточно высокую среднюю точность (от 79% до 84%) для идентификации пола и были сравнимы с формулами, полученными для других элементов скелета южноафриканских африканцев. В результате было сделано заключение, что плюсневые кости южноафриканских африканцев представляют собой реальную альтернативу другим высоко диморфным с точки зрения половой принадлежности костям, и что их можно использовать для оценки пола неопознанного человека по скелетным останкам в региональной практике судебной медицины [40].

В исследованиях других авторов для определения полового диморфизма большинство измерений костей основывалось на измерении высоты и ширины головок, оснований и диафизов, а не костной длины. Однако, данные показатели имеют свойство изменяться после полового созревания потенциально увеличивая ошибку. С другой стороны, длина может

слегка измениться на проксимальном и дистальном концах в результате функциональной нагрузки и ремоделирования, но любое такое изменение будет небольшим по сравнению с общей длиной кости. Но на показатели робастности влияет также и активность, которая может маскировать основные закономерности полового диморфизма. Следовательно, дискриминантные функции, которые основываются на измерениях длины, меньше всего будут зависеть от вариаций, связанных с активностью, и им следует отдавать предпочтение при определении пола.

Case et Ross (2007) в своем исследовании выяснили вопрос о том, можно ли использовать измерения длины костей рук и ног для определения пола [41]. Выборка состояла из 123 женских и 136 мужских скелетов. Был использован дискриминантный анализ для классификации костей по полу. Правильная классификация по установленным формулам костей левой руки и ноги превзошла аналогичную по правой руке и ноге обеспечив правильные показатели, превышающие 80%. Как это ни странно, но в этом исследовании фаланги были лучшими дискриминаторами пола, чем пястные или плюсневые кости. Это исследование также предполагает, что переменные мер длины более подходят для оценки пола, чем меры робастности [41].

Анатомическая изменчивость остеометрических показателей плюсневых костей стопы человека в идентификации роста

Для оценки роста самые надежные доступные методы требуют сохранности длинных трубчатых костей, но, поскольку это очень часто не так, разработка альтернативных методов, основанных на отдельных костях, является необходимой. Cordeiro с соавт. (2009) проводили измерение физиологической и максимальной длин I и II плюсневых костей, для определения роста взрослого человека. Изучалось 220 плюсневых костей, собранных во время вскрытий португальских европейцев в возрасте от 20 до 75 лет. При оценке роста по измерению плюсневых костей наилучшая корреляция была получена из соот-

ношения с максимальной длиной 2-й плюсневой кости. Из него было выведено уравнение регрессии для оценки роста. Обнаруженные корреляции значительны, с некоторыми значения очень близкими к 0,8, цифры корреляции примерно одинаковы для оценки роста на основе измерений фрагментов длинных костей, реального роста или по размерам стопы [42].

Остеометрические измерения первой плюсневой кости взаимосвязаны от умеренной до высокой степени корреляции ($r=0,62-0,91$) с диаметром и длиной головки бедра [43]. Их проксимальный суставной дорсо-плантарный диаметр (высота основания) является наилучшим измерением для прогнозирования размеров обеих бедренных костей. Процент стандартных ошибок оценки составляет менее 5% [43]. Уравнения, использующие измерения двух плюсневых костей, показывают небольшое увеличение точности. Прямые оценки массы тела, рассчитанные по измеренному диаметру головки бедра с использованием ранее опубликованных уравнений имеют погрешность чуть более 7%, что демонстрирует возможность использования первой плюсневой кости при оценке массы тела и роста, в случаях отсутствия либо фрагментирования длинных трубчатых костей [43].

Bidmos (2008) в своем исследовании изучал возможность использования плюсневых костей в оценке роста южноафриканцев [44]. Были отобраны 226 полных скелетов методом простой случайной выборки из коллекции южноафриканских человеческих скелетов, которые использовались в формуле уравнений одномерной и многомерной регрессии по шести линейным измерениям плюсневых костей. В процессе отбора учитывались только две самые большие группы в коллекции, а именно коренные южноафриканцы и южноафриканцы европейского происхождения. Длина плюсневых костей коррелировала от умеренной до высокой степени с общей высотой скелета, что указывает на хорошую связь между предикторами и зависимыми переменными полученных уравнений. У мужчин последовательно представлены более высокие средние значения по сравнению с женщинами

в отношении общей высоты скелета и всех плюсневых измерений [44]. Стандартная ошибка оценки для полученных уравнений регрессии ниже, чем для показателей черепа, фрагментов большеберцовой кости и пяточной кости, что показывает, что плюсневые кости имеют лучшую прогностическую эффективность при оценке роста по сравнению с этими элементами скелета. Таким образом, уравнения регрессии, представленные в этом исследовании, могут обеспечить надежную оценку роста в случаях, когда неповрежденные длинные кости недоступны для судебно-медицинского анализа [44].

Для оценки роста корейской популяции Park et al. (2022) предложили уравнение регрессии с использованием плюсневых костей трупов и поставили цель подтвердить валидность уравнений для корейской популяции путем их сравнения с уравнениями для других популяций [45]. Всего были использованы скелетные элементы 81-го, фиксированного формалином, трупа взрослого человека (51 мужчины и 30 женщин). Измеряли костную и суставную длины I и II плюсневых костей, определяли рост как расстояние от макушки до подошвенной поверхности пятки. Коэффициент корреляции между реальным ростом и длиной плюсневых костей был статистически значимым во всех измерениях ($p<0,001$). Кроме того, у образцов обоих полов была обнаружена корреляция между ростом и длиной плюсневой кости. Максимальная длина I плюсневой кости (M1) имеет наибольшую корреляцию с ростом. Уравнение регрессии выглядит таким образом: $\text{рост}=1172,5+7,3 \times \text{M1}$; ($r=0,703$). В результате, полученное уравнение продемонстрировало статистически значимую большую валидность для корейской популяции по сравнению с уравнениями для других популяций ($p<0,001$), и может быть более подходящим и полезным в судебно-медицинской или юридической практике для корейского населения [45].

Как сообщает Byers с соавт. (1989), плюсневые кости с большей вероятностью сохраняются целыми, чем длинные кости, и учитывая легкость, с которой они точно измеряются, их параметры должны ока-

заться полезными при изучении исторических и даже доисторических популяций. Сами авторы, измеряя длины плюсневых костей, а также длины тел 130 трупов, из которых эти кости были извлечены, выявили значимые ($r=0,58-0,89$) коэффициенты корреляции между ними [46].

Оценка роста человека является стандартной процедурой в области судебной медицины, антропологии и палеоантропологии, для чтобы получить биологическое представление об изучаемых индивидах или популяциях. Наиболее точный метод оценки роста основан на остеометрии, предпочтительно длинных костей нижней конечности. В некоторых случаях из-за фрагментарного характера извлеченного костного материала оценки роста должны основываться на других костных элементах нижних конечностей и, в частности, как это продемонстрировано нами на результатах исследований разных авторов выше, костях стопы. Наилучшими отдельными костями для оценки роста являются первая и вторая плюсневые кости, а также таранная и пяточная кости [47]. При редких случаях сохранности всей стопы или ее части, безусловно, могут быть использованы соответствующие формулы и уравнения регрессии, разработанные на основе корреляции тотальных размеров всей стопы и (или) обуви с длиной тела или ростом. Такие исследования были проведены на одной из современных индийских мужских популяций [48] и двух турецких популяциях [49-50]. Однако в реальной действительности, в останках, особенно при термических повреждениях, сохраняются лишь отдельные костные элементы скелета, поэтому результаты последних указанных исследований могут быть использованы только в соответствующих случаях.

Анатомическая изменчивость плюсневых костей стопы как идентификационный параметр человека

Анатомические особенности самих плюсневых костей могут служить критериями диагностики паттернов ходьбы, формы, носимой человеком, обуви, характера поверхности передвижения этниче-

ской и (или) расовой принадлежности. Межплюсневые суставные фасетки на первой и других плюсневых костях, которые представляют собой костные выступы на боковой стороне основания, показывают различия в морфологии этих костных элементов плюсны и частоты встречаемости в разных популяциях. Более того, эта фасетка на первой плюсневой кости, если она присутствует, образует сустав со второй плюсневой костью и считается видовой анатомической особенностью, уникальной или аутапоморфной для людей или по меньшей мере для отдельных групп людей. Исследования показывают, что наличие и характеристики этой фасетки могут различаться в разных этнических группах.

Так, Munisami и Santanagopalan (1983) было проведено исследование борозд боковой поверхности второй (SMT), третьей (TMT) и четвертой (FMT) плюсневых костей [51]. Канавка на SMT начинается чуть выше середины боковой поверхности основания и проходит к диафизу, образуя угол 85-111 градусов с основанием. TMT имеет канавку, начинающуюся примерно в середине боковой поверхности, образующую угол 57-72 градусов с основанием, в то время как канавка на FMT проходит более остро вверх, начиная с нижнего конца поверхности и образуя угол 37-54 градусов с основанием. Наличие этих борозд и знание их характеристик могут служить дополнительными критериями положения плюсневых костей в составе метаподия и их дифференцировки, особенно в судебной медицине [51].

Наиболее подробные особенности анатомии межсуставной фасетки первой плюсневой кости, включая ее остеометрические показатели, были исследованы в серии 306 негоминидных приматов, представляющих 40 родов, и в серии 412 плюсневых костей людей [52]. У приматов не было обнаружено ни одного случая межплюсневой фасетки первых плюсневых костей. У людей же хорошо выраженная межплюсневая фасетка наблюдалась в 30,8% случаев, причем существенной разницы между левой и правой костями не наблюдалось. Форма фасетки была эллиптической, более или менее удлинненной.

Средние значения ее высоты составляли 10,7 мм, ширины 6,1 мм (от минимума 5×3 мм² до 17×10 мм²). Фасетка располагалась в дорсальной трети латеральной стороны первой плюсневой кости в 81,1% случаев, в средней в 18,9% случаев и никогда не наблюдалась в подошвенной трети. Проксимальная суставная фасетка для медиальной клиновидной кости наблюдалась в 53,5% случаев, и она была отделена от проксимальной межплюсневой фасетки небольшой внесуставной площадкой или бороздкой в 46,5% случаев. Эти наблюдения показывают, что первая межплюсневая фасетка человека является уникальным признаком (то есть аутапоморфным) и присутствует примерно у одной трети людей. Появление этой новой суставной поверхности у человека, авторы связывают с морфологическими изменениями стопы, вызванными прямохождением, и, в частности, с утратой способности отводить большой палец и его постоянным приведением [52].

Kazuhiro (2007) в своем исследовании изучал частоту распространения межплюсневой суставной фасетки основания первой плюсневой кости в нескольких группах населения разных регионов, эпох и этнических групп [53]. Это были американцы европейского происхождения, афроамериканцы, современные японцы, японцы эпохи Камакура (самураев), японцы эпохи Эдо и эпохи Дзёмон. Исследование было проведено для того, чтобы определить межпопуляционные, половые и билатеральные различия и обсудить причины их возникновения. Значительные межгрупповые различия в частоте присутствия фасетки наблюдались среди мужчин европейского происхождения, афроамериканцев и японцев, а также между европейскими американцами и японскими женщинами периода Эдо. Наличие межплюсневой суставной фасетки было подтверждено во всех исследованных популяциях. Автор считает, что ее можно рассматривать как аутапоморфный анатомический признак людей, и что на него могут влиять этнические различия современных человеческих популяций [53].

Таким образом, анализ результатов, приведенных нами выше исследований, достаточно убедительно доказывает возможность и необходимую точность идентификации роста и ряда других характеристик человека на основе измерений остеометрических параметров плюсневых костей и исследования их анатомических особенностей, равно как и морфологических идентификационных свойств самих плюсневых костей в диагностике их видовой принадлежности.

Диагностическое значение анатомической изменчивости рентгеновских остеометрических показателей плюсневых костей стопы человека

В настоящее время рентгенография является одним из основных методов исследования костных структур человека и животных. Рентгеноанатомическая изменчивость плюсневых костей стопы человека, как и всего скелета стопы, в изучении их анатомии, связанной с бипедией, представляет отдельный научный интерес. Некоторые приемы и методы рентгеновской анатомии позволяют получить дополнительную специальную информацию об организации скелетных элементов в пространстве, их архитектуре в составе части скелета, реальном взаимном положении в составе целостной стопы и являются ценным источником получения новых данных в отличие от приемов и методов прямой остеометрии. Но в то же время следует учитывать вносимые этой технологией погрешности и даже ряд грубых ошибок, связанных с получением опосредованной (лучевой) анатомической картины ряда объектов, особенно в случаях патологии. Каждый из приемов как непосредственной прямой, так и рентгеновской или магнитно-резонансной остеометрии обладают как специфическими преимуществами, так и специфическими недостатками. В клинике же определение степени патологии костей по данным рентгенографии является основополагающим методом при выборе тактики хирургического лечения при травмах и ортопедических заболеваниях костей стопы, в частности, плюсны.

Что касается дополнительной информации, которую можно получить только на рентгенографических картинах метаподия стопы и стопы человека в целом, то это, прежде всего, система измерения так называемой параболы плюсны [55], разработанная еще в 1951 году Hardy et Clapham [54]. Она представляет собой определение на прямой проекции рентгеновских снимках стопы степени радиальности и характеристики окружности, описываемой дистальным концом II пястной кости, центр которой находится в точке пересечения поперечной оси предплюсны и центральной диафизарной оси II плюсневой кости. Поперечная ось предплюсны согласно методу построения параболы или дуги плюсны этих авторов представляет собой линию, соединяющую самую заднюю точку бугорка ладьевидной кости с наиболее близкой к краю стопы точкой задней проксимальной суставной фасетки кубовидной кости. Изначально авторами определялась только степень выступания (протрузии) за пределы этой окружности (плюсневой дуги) дистального конца первой плюсневой кости [55]. Этот прием был адаптирован Domínguez-Maldonado с соавт. (2014) для оценки разницы в выступании («протрузии») в дистальном направлении концевой точки головки I плюсневой кости относительно аналогичной точки второй плюсневой кости для изучения всей параболы плюсны и применена к пяти плюсневым костям без патологии 72 женских стоп и 97 мужских стоп [54]. Авторы измерили число случаев и величину таких протрузий дистальных концов других плюсневых костей относительно дистального конца II плюсневой кости. Полученные результаты показывают, что эти выступания для женской стопы составляют +1,27% для первой плюсневой, -3,36% для второй, -8,34% для четвертой и -15,54% для пятой плюсневых костей. Аналогичные данные, полученные для мужской стопы, составили +0,5% для первой, -3,77% для третьей, -9,57% для четвертой и -17,05% для пятой плюсневых костей. Таким образом, половые различия в плюсневых параболах были значительными [54]. При прямой остеометрии с выделением отдельных костей из состава скелета стопы получить

аналогичную анатомическую характеристику плюсны, естественно, не представляется возможным.

Совершенно уникальными по своим приемам для анатомической характеристики плюсны являются обнаруженные нами несколько посмертных рентгеноанатомических исследований плюсневых костей человека. Первое из них, проведенное Grande-del-Arco с соавт. (2020), посвящено определению наличия эффекта искажения формы I плюсневой кости из-за угла наклона рентгеновского луча и проверке реальной формы головки плюсневой кости и основано на анатомическом исследовании стопы после проведения ее рентгенографии [56]. В исследование были включены 103 стопы от балзамированных трупов. В прямой проекции стоп была выполнена серийная рентгенография с изменением угла наклона пучка рентгеновских лучей (угла наклона проекции) от 0° до 30° с шагом в 5° на всех образцах. Затем два независимых наблюдателя проверили форму головки I плюсневой кости на рентгенограммах и после анатомического рассечения стопы и выделения кости. Результаты показали, что деформация головки I плюсневой кости и наличие на ней гребня определяется только при угле рентгеновского луча в 20° наклона. Отсюда, по мнению авторов, все исследования, утверждающие, что существуют три типа формы головки I плюсневой кости, якобы определенно связанные с конкретным диагнозом патологии стопы, такой как вальгусная деформация или ригидность большого пальца стопы, являются не обоснованными и ошибочными. Это исследование продемонстрировало, что существует только единственная круглая форма ее головки, и, следовательно, не может быть поставлен диагноз, на основании рентгеноанатомической формы головки I плюсневой кости [56].

Второе исследование, проведенное группой авторов во главе с Gawlikowska (2007), было посвящено билатеральной организации плюсневых костей и времени ее возникновения в онтогенезе [57]. Для рентгеновской остеометрической оценки асимметрии плюсневых костей измеряли общую площадь проекции и длину плюс-

невых костей на рентгеновских снимках обеих стоп 36 балъзамированных в 10% растворе формалина препаратов плодов человека обоего пола. Была обнаружена структурная билатеральная асимметрия в плюсневых костях плода. В младшей группе плодов характер асимметрии значительно колебался. Явное одностороннее доминирование во всех плюсневых костях проявилось только в самой старшей группе, старше 26 недель развития [57]. Это исследование было основано на проведенных в свое время De Vasconcellos и соавт. работах (1988-1998) по изучению роста скелета стопы и конкретно плюсневых костей более чем у 800 плодов человека с целью установления аллометрических формул внутриутробного роста и определения гестационного возраста [58-60].

Также, как и в случае с прямой остеометрией, рентгеновская остеометрия находит свое применение в идентификации пола и роста. Senol с соавт. (2023) ретроспективно проанализировали и измерили рентгенологические изображения I и V плюсневых костей и фаланг 135 женщин, 128 мужчин в возрасте от 27 до 60 лет с целью прогнозирования пола с помощью алгоритмов машинного обучения [61]. Измерялись длина и ширина костей, были рассчитаны отношения общей длины первой проксимальной и дистальной фаланг и длины I плюсневой кости к общей длине пятой проксимальной, средней и дистальной фаланг и максимальной длине V плюсневой кости. В результате было установлено, что оценка пола производится с высокой степенью точности с использованием алгоритмов машинного обучения на рентгеновских снимках I и V плюсневых костей и фаланг пальцев. Таким образом, рентгеновские изображения I и V плюсневых костей и фаланг пальцев с успехом можно использовать для автоматического определения пола [61].

В работе тегеранских исследователей была произведена оценка надежности определения пола у населения Ирана с использованием рентгенографических изображений плюсневых костей [62]. Измерялись длина и ширина плюсневых костей, отношение длины к ширине и их произведение. В исследование были вклю-

чены рентгенограммы 103 мужчин и 81 женщины и были выбраны три возрастные группы: 20-34, 35-49 лет и старше 50 лет. Различия в длине, ширине, соотношении длины и ширины и их произведении между полами были значительными во всех возрастных группах. Произведение длины и ширины I плюсневой кости имело чувствительность и специфичность 85,4% и 88,8% соответственно, но среднее общее значение произведения значений длины и ширины плюсневых костей имело чувствительность и специфичность 94,2% и 78% соответственно. В результате исследования было установлено, что произведение длины и ширины I и III плюсневых костей демонстрировали наибольшую точность в идентификации пола. Авторы считают эти диагностические данные валидными только для иранского населения [62].

Moneim с соавт. (2008) аналогичные исследования произвели для египтян, 80 мужчин и 80 женщин в возрасте от 25 до 65 лет [63]. Измерялись максимальная высота и максимальная ширина правого надколенника и длина, диаметр середины диафиза плюсневых костей для определения пола с помощью одномерного и многомерного дискриминантного анализа. Для проверки точности данного метода, случайным образом были отобраны еще 80 рентгенограмм стоп и надколенника людей, не включенных в исходную выборку. На основе измерений, проведенных на плюсневых костях, были продемонстрированы более значительные половые различия, чем на надколеннике. Измерение длины и середины диафиза III плюсневой кости дало наивысшее значение правильного определения пола со 100% точностью. Многомерная функция, связывающая длину I, III и V плюсневых костей и диафизов I, II и V плюсневых костей, также дала 100% точность. Проверка многомерной функции на отдельной независимой выборке выявила правильную классификацию в 87,5% [63]. Существуют также методы исследования, основанные на оценке роста с использованием рентгенологически определенных длин плюсневых костей. Данные, которые получают при их измерении, являются значительным вкла-

дом в оценку биологического профиля человека и позволяют построить достаточно валидные уравнения регрессии для оценки роста [64].

Как показывает опыт ряда авторов, рентгеновские остеометрические данные плюсневых костей являются ценными диагностическими показателями для клинической практики в ортопедии, травматологии и патологии костно-суставного аппарата стопы. Ежовым с соавт. (2013), с использованием рентгенограмм стоп в прямой и боковой проекциях были изучены анатомические структуры и остеометрические параметры первой плюсневой кости [65]. Авторы определили индексы отношения поперечных размеров кости к ее длине у пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями скелета стопы и полученные данные были сравнены с нормой. На основе остеометрических параметров этих индексов отношения толщины и длины головки и основания первой плюсневой кости была разработана оригинальная классификация степени тяжести ее патологии. Соответственно степени тяжести заболевания в дальнейшем выбирался метод оперативного лечения [61]. В другом исследовании у пациентов с дегенеративной формой артрита плюсне-флангового сустава при исследовании рентгенограмм прямой проекции 51 пациента с диагнозом ригидного большого пальца стопы (*hallux rigidus*) и 51 пациента без этой патологии определяли длины выступания (протрузии) плюсны, длину первой и второй плюсневых костей, длину проксимальных фаланг большого и второго пальца стопы и общую длину большого пальца [62]. Статистическое сравнение этих рентгенографических измерений показало, что только длина пер-

вой плюсневой кости существенно различалась между двумя этими группами и составила $65,4 \pm 5,3$ мм в норме и $67,7 \pm 5,9$ мм при патологии. Авторы пришли к выводу о том, что длина первой плюсневой кости является важным критерием в диагностике дегенеративного артрита костей плюсны [66].

Заключение. Таким образом, анатомические Osteографические особенности плюсневых костей стопы человека, изменчивость формы и направлений их костных борозд, формы и размеров межплюсневых суставных фасеток могут служить достоверными критериями диагностики паттернов ходьбы, формы носимой человеком обуви, характера поверхности передвижения, этнической и(или) расовой и даже эпохальной принадлежности и имеют высокое идентификационное значение. Наличие ряда анатомических структур плюсневых костей позволяют судить о видовой принадлежности этих костей человеку и являются практически не изученными аутопоморфными анатомическими признаками. Остеометрические же параметры плюсневых костей человека, полученные, как путем прямой, так и не прямой (рентгеновской) остеометрии выступают надежными идентификационными признаками в судебно-медицинской и анатомо-антропологической диагностике пола, роста, в ряде случаев возраста и иных характеристик. На их основе разрабатываются диагностические критерии различных заболеваний костно-суставного аппарата стопы. Представленные выше сведения определяют научно-практическое значение исследований анатомической изменчивости плюсневых костей стопы человека.

Литература:

References:

1. Ryakhovskiy MA, Khayrullin RM, Ermolenko AS, Mitchenko IV. *Vozrastnaya dinamika morfometricheskikh pokazateley kostey stopy cheloveka po dannym rentgenoostemetrii. Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova.* 2009;17(2):8-15. In Russian
2. Khayrullin PM, Ryakhovskiy MA, Ermolenko AS, Akhmetova GR. *Morfologiya trubchatykh kostey stopy cheloveka po dannym rentgenologicheskikh issledovaniy. Morfologiya.* 2009;136(4):145-146. In Russian
3. Mel'nikov AA, Safiullina AF, Bayroshevskaya MV, Khayrullin RM. *Osteometricheskie pokazateli kostnykh elementov stopy sovremennogo cheloveka/ V sb.: Problemy sovremennoy morfologii cheloveka. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 80-letiyu prof. B.A. Nikityuka.* Moskva: RGUFK, 2013.- S. 86-88. In Russian
4. Khayrullin RM, Safiullina AF, Nikiforov RV, Melnikov AA, Bayroshevskaya MV. *Osteometric and physical variability of the human foot bones. Revista Argentina de Anatomía Clínica.* 2013;5(2):124-124
5. Khayrullin RM, Mel'nikov AA, Khayrullin FR, Nikiforov RV. *Osteometricheskie indeksy srednikh falang stopy cheloveka i ikh polovye razlichiya. Morfologicheskie vedomosti.* 2014;3:66-73. In Russian

6. Mel'nikov AA, Nikiforov RV, Khayrullin RM, Khayrullin FR. Osteometricheskie parametry srednikh falang stopy cheloveka i ikh polovye razlichiya. *Morfologicheskie vedomosti*. 2014;1:70-78. In Russian
7. Mel'nikov AA, Khayrullin RM, Safiullina AF, Khayrullin FR. Diskriminantnyy analiz pal'tsevoy i polovoy izmenchivosti osteometricheskikh pokazateley srednikh falang stopy cheloveka. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014;10-4:693-699. In Russian
8. Bayroshevskaya MV, Safiullina AF, Khayrullin RM. Chastota tipov pyatochnoy kosti po modifitsirovannoy klassifi-katsii form tarannykh sus-tavnykh poverkhnostey. *Morfologicheskie vedomosti*. 2014;1:26-32. In Russian
9. Bayroshevskaya MV, Safiullina AF, Khayrullin RM, Nikiforov RV. Polovye razlichiya pyatochnykh kostey stopy cheloveka po dannym pryamoy osteometrii. *Morfologicheskie vedomosti*. 2014;3:31-36. In Russian
10. Bezrukova OD, Safiullina AF, Nikiforov RV et al. Osteometric sex differences of foot bones are concentrated on the proximal-distal axis and on 2th and 4th rays/ V kn.: The 6th International Symposium of Clinical and Applied Anatomy. 2014. S. 73-74
11. Ermolenko AS, Ryakhovskiy MA, Khayrullin RM. Bilateral'naya izmenchivost' rentgenoosteometricheskikh pokazateley pyastnykh kostey kisti cheloveka. *Saratovskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal*. 2009;5(3):313-315. In Russian
12. Ermolenko AS, Ryakhovskiy MA, Khayrullin RM. Sravnitel'noe issledovanie izmenchivosti rentgenoosteometricheskikh pokazateley pyastnykh kostey v zavisimosti ot klimato-geograficheskogo faktora. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2009;16(1):175-176. In Russian
13. Ermolenko AS, Khayrullin FR, Khayrullin RM. Znacheniya chisel Fibonachchi v sootnosheniyyakh kostnykh segmentov kisti cheloveka. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2011;9-2:241-244. In Russian
14. Ermolenko AS, Khayrullin RM. Zakonomernosti bilateral'noy organizatsii dliny falang kisti cheloveka. *Uchenye zapiski SPbGMU im. akad. I.P. Pavlova*. 2011;18(2):55-56. In Russian
15. Khayrullin RM, Fomina AV, Aynullova NK. Variabel'nost' znacheniy 2d:4d pal'tseвого индекса u dikikh i laboratornykh zhivotnykh. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013;6-3:611-618. In Russian
16. Khayrullin RM. Sootnoshenie morfologicheskoy i funktsional'noy asimmetrii kisti u cheloveka. *Morfologiya*. 2001;120(4):88. In Russian
17. Khayrullin RM. Morfologicheskie tipy kisti v yunosheskom periode individual'nogo razvitiya. *Morfologicheskie vedomosti*. 2001;1-2:103-105. In Russian
18. Khayrullin RM. Effektivnost' indeksov fluktuiruyushchey asimmetrii dlya otsenki morfologicheskikh priznakov cheloveka. *Morfologicheskie vedomosti*. 2002;1-2:52-54. In Russian
19. Filippova EN, Khayrullin RM. Individual'naya izmenchivost' morfometricheskikh parametrov pal'tsevykh dermatoglifov kisti. *Morfologiya*. 2001;120(4):87-88. In Russian
20. D Gonçalves D, Thompson TJU, Cunha E. Osteometric sex determination of burned human skeletal remains. *J Forensic Leg Med*. 2013;20(7):906-911. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2013.07.003>
21. Rösing FW, Graw M, Marré B et al. Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*. 2007;58(1):75-89
22. Pigolkin YuI, Zolotenkova GV, Berezhovskiy DP. Metodologicheskie osnovy opredeleniya vozrasta cheloveka. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2020;63(3):45-50. In Russian
23. Zoyagin VN, Eremenko AE. Diagnostika massivnosti skeleta i somatotipa cheloveka po kostyam stopy. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2003;46(3):17-23. In Russian
24. Sveshnikov KA. Gendernye razlichiya massy mineral'nykh veshchestv v kostyakh skeleta v vozrastnom aspekte. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012;5(1):110-114. In Russian
25. Ying-chun MI, Rui-xing G. The X-Ray and CT Diagnosis of 21 with Metatarsal Tarsal Bone Fracture Research. *Image Technology*. 2013;27-28. URL:https://caod.oriprobe.com/articles/40609751/The_X-Ray_and_CT_Diagnosis_of_21_with_Metatarsal_T.htm?__cf_chl_rt_tk=dAN0TdI9x18z9jXH3X2w.Te3Kmh7Tg2PWBilHilqoM-1751442357-1.0.1.1-QHLSZNI6j79xIK.ojDKRdsp5VBjEQFiuau_plrVYSbQ. Viewing date 02.07.2025
26. Nikityuk BA. Akseleratsiya razvitiya detey i ee posledstviya. - Alma-Ata: Kazakhstan, 1990.- 176s. In Russian
27. Hiteshkumar MC, Taqi M. Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Arches of the Foot. *Treasure Island (FL): StatPearls Publishing LLC*, 2025. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587361/> Viewing date 02.07.2025
28. McFadden D, Bracht MS. Sex differences in the relative lengths of metacarpals and metatarsals in gorillas and chimpanzees. *Horm Behav*. 2005;47:99-111
29. McFadden D, Bracht MS. The relative lengths and weights of metacarpals and metatarsals in baboons (*papio hamadryas*). *Horm Behav*. 2003;43:347-355
30. Marchi D. The cross-sectional geometry of the hand and foot bones of the hominoidea and its relationship to locomotor behavior. *J Hum Evo*. 2005;49(6):743-761
31. Zipfel B, Kidd R. Hominin first metatarsals (SKX 5017 and SK 1813) from Swartkrans: a morphometric analysis. *Homo*. 2006;57:117-131
32. Higurashi Y et al. Integrative experimental and morphological study of the metacarpal and metatarsal bones of the Japanese macaque. *Anthropological Science*. 2019;127(2):123-130
33. Sineva IM. Opredelenie polovoy prinadlezhnosti v paleoantropologicheskikh issledovaniyakh kostey verkhney i nizhney konechnosti». Avtoref. diss. na soisk. uch. st. kand. biol. nauk. M.: MGU im. M.V. Lomonosova, 2013.- 16 s. In Russian
34. Mountrakis C, Eliopoulos C, Koiliakos CG, Manolis SK. Sex determination using metatarsal osteometrics from the Athens collection. *Forensic Sci Int*. 2010;200:1-7
35. Hyer CF et al. The obliquity of the first metatarsal base. *Foot Ankle Int*. 2004;25:728-732
36. McFadden D, Bracht MS. Sex and Race Differences in the Relative Lengths of Metacarpals and Metatarsals in Human Skeletons. *Early Hum Dev*. 2009;85(2):117-124
37. Robling AG, Ubelaker DH. Sex estimation from the metatarsals. *Journal of Forensic Sciences*. 1997;42(6):1062-1069
38. Aarti RG, Srinivas M. Determination of Sex by Osteometry of Third Metatarsal. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*. 2020;14:3-10
39. Torres G, Garmendia AM, Sánchez-Mejorada G, Gómez-Valdés JA. Estimation of gender from metacarpals and metatarsals in a Mexican population. *Rev Esp Med Legal*. 2020;46(1):12-19
40. Bidmos MA et al. Estimation of sex from metatarsals using discriminant function and logistic regression analyses. *AJFS*. 2019;10:10-18
41. Case DT, Ross AH. Sex determination from hand and foot bone lengths. *Journal of Forensic Sciences*. 2007;52(2):264-270
42. Cordeiro C et al. Predicting adult stature from metatarsal length in a Portuguese population. *Forensic Sci Int*. 2009;193(1-3):e1-4. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.09.017>
43. De Grootel I, Humphrey LT. Body Mass and Stature Estimation Based on the First Metatarsal in Humans. *Am J Phys Anthropol*. 2011;144(4):625-632
44. Bidmos MA. Metatarsals in the estimation of stature in South Africans. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2008;15(8):505-509
45. Park JH et al. Estimating Adult Stature Using Metatarsal Length in the Korean Population: A Cadaveric Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;16;19(22):15124. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215124>

46. Byers S, Akoshima K, Curran B. Determining the height of an adult by the length of the metatarsal bones. *Am J Physical Anthropol.* 1989;79(3):275-279. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330790303.989;275-279>
47. Pablos A et al. From toe to head: use of robust regression methods in stature estimation based on foot remains. *Forensic Sci Int.* 2013;226(1-3):299.e1-7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.01.009>
48. Krishan K. Determination of stature from foot and its segments in a north Indian population. *Am J Forensic Med Pathol.* 2008;29(4):297-303
49. Zeybek G, Ergur I, Demiroglu Z. Stature and gender estimation using foot measurements. *Forensic Sci. Int.* 2008;181(1-3):54. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.08.003>
50. Ozden H et al. Stature and sex estimate using foot and shoe dimensions. *Forensic Science International.* 2005;147(2-3):181-184
51. Munisami B, Santanagopalan M. Identification of the second, third and fourth metatarsal bones of man. *The Anatomical Record.* 1983;207(3):509-511. <https://doi.org/10.1002/ar.1092070312>
52. Minor J-M L, Winter M. The intermetatarsal articular facet of the first metatarsal bone in humans: a derived trait unique with primates. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger.* 2003;185(4):359-365. [https://doi.org/10.1016/S0940-9602\(03\)80061-4](https://doi.org/10.1016/S0940-9602(03)80061-4)
53. Kazuhiro S. Population Differences in the Appearance of the Intermetatarsal Articular Facet of the First Metatarsal Bone. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci.* 2007;33:1-8
54. Hardy RH, Clapham JCR. Observations on hallux valgus; based on a controlled series. *The Journal of Bone and Joint Surgery.* 1951;33(3):376-391. doi: 10.1302/0301-620X.33B3.376
55. Dominguez-Maldonado G et al. Normal values of metatarsal parabola arch in male and female feet. *Scientific World Journal.* 2014;505736. <https://doi.org/10.1155/2014/505736>
56. Grande-Del-Arco J et al. Radiographic Analysis on the Distortion of the Anatomy of First Metatarsal Head in Dorsoplantar Projection. *Diagnostics (Basel).* 2020;10(8):552. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10080552>
57. Gawlikowska A et al. X-ray evaluation of symmetry development of human metatarsal bones in different periods of fetal life. *Med Sci Monit.* 2007;13(6):131-135
58. De Vasconcellos HA, Mandarim-De-Lacerda CA. Human metatarsal growth: an allometrical analysis in prenatal period. *Arch Ital Anat Embriol.* 1988;93(3):155-62
59. De Vasconcellos HA, Prates JC, Moraes LG, Rodrigues HC. Growth of the human metatarsal bones in the fetal period (13-24 weeks postconception): a quantitative study. *Surg Radiol Anat.* 1992;14(4):315-318. <https://doi.org/10.1007/BF01794757>
60. De Vasconcellos HA, Ferreira E. Metatarsal growth during the second trimester: a predictor of gestational age? 1998;193(1):145-149. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1998.19310145.x>
61. Senol D et al. Sex prediction with morphometric measurements of first and fifth metatarsal and phalanx obtained from X-ray images by using machine learning algorithms. *Folia Morphol (Warsz).* 2023;82(3):704-711. <https://doi.org/10.5603/FM.a2022.0052>
62. Akhlaghi M et al. Sex determination from metatarsals in Iranian population. *IJMTFM.* 2017;7(4):203-208
63. Moneim AWM. et al. Identification of sex depending on radiological examination of foot and patella. *Am J Forensic Med Pathol.* 2008;29:136-140
64. Rodriguez S et al. Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population. *Forensic Sci Int.* 2013;226(1-3):297.e1-4. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.12.006>
65. Ezhov MYu. Khirurgicheskoe lechenie degenerativno-distroficheskikh zabolevaniy sustavov stopy i golenostopnogo sustava. Avtoref. diss. na soisk. uch. st. dokt. med. nauk.- Nizhniy Novgorod, 2013.- 39s. In Russian
66. Zgonis T et al. The value of radiographic parameters in the surgical treatment of hallux rigidus. *J Foot Ankle Surg.* 2005;44(3):184-189

Автор заявляет об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

The Author declare that she has no any conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Зеркалова Яна Игоревна, аспирант, старший преподаватель кафедры общей и клинической морфологии Ульяновского государственного университета, Ульяновск, Россия; e-mail: zerkalova.yana@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Yana I. Zerkalova, Aspirantin, Ulyanovsk State University General and Clinical Morphology Department Senior Lecturer, Ulyanovsk, Russia; e-mail: zerkalova.yana@mail.ru