

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ / BIOLOGICAL ANTHROPOLOGY

Обзор / Review

<https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-1-8>

УДК/UDC 572.5/.9

**Современные методы определения половой принадлежности
по костям посткраниального скелета человека
(аналитический обзор)**

А.С. Колясникова ✉

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ kas181994@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Введение. Определение половой принадлежности индивидуумов по костям посткраниального скелета – важная задача в палеоантропологии и судебной медицине, при фрагментации или отсутствии костей черепа и таза. Традиционный остеометрический подход, основанный на половом диморфизме размерных характеристик, требует учета популяционной специфичности и непрерывно совершенствуется. Целью данного обзора является систематизация и анализ современных методов определения пола по костям посткраниального скелета, базирующихся на остеометрических данных.

Материалы и методы. В обзоре проведен анализ современных научных публикаций, посвященных методам определения пола по посткраниальному скелету. Рассматриваются три основных методологических подхода: методы, основанные на одномерной статистике (анализ отдельных размерных признаков), методы многомерной статистики (дискриминантный анализ, логистическая регрессия), а также современные технологии, включающие использование данных компьютерной томографии (КТ) для 3D-реконструкций и применение алгоритмов машинного обучения (в частности, глубокого обучения) для анализа изображений костей.

Результаты и обсуждение. Одномерные методы сохраняют практическую ценность благодаря простоте применения и возможности работы с фрагментированным материалом, хотя их точность обычно ниже, чем у многомерных. Многомерные статистические модели, учитывающие комплекс взаимосвязанных признаков, обеспечивают более высокую точность определения пола. Ключевым фактором, влияющим на надежность любого метода, является его популяционная специфичность – применение моделей, разработанных для одной популяции, к другой приводит к значительному снижению точности. Интеграция данных КТ и методов искусственного интеллекта открывает новые перспективы для автоматизации, повышения объективности и выявления новых диагностических признаков.

Заключение. Современные методы определения пола по посткраниальному скелету представляют собой развивающийся инструментарий, где традиционные одномерные подходы эффективно дополняются сложными многомерными моделями и инновационными технологиями. Для обеспечения высокой достоверности результатов необходима разработка и валидация популяционно-специфичных стандартов. Будущее направления связано с дальнейшей интеграцией методов 3D-визуализации и машинного обучения, что позволит повысить точность, скорость и объективность экспертной идентификации.

Ключевые слова: определение пола; посткраниальный скелет; остеометрия; половой диморфизм; машинное обучение

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова.

Для цитирования: Колясникова А.С. Современные методы определения половой принадлежности по костям посткраниального скелета человека (аналитический обзор) // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2026. № 1. С. 104–111. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-1-8>

Modern Methods of Sex Estimation from Human Postcranial Bones. A Critical Review

Anna S. Kolyasnikova¹ ✉

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ kas181994@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. Sex determination of individuals from postcranial skeletal bones is a significant task in paleoanthropology and forensic medicine, particularly when skull and pelvic bones are fragmented or absent. The traditional osteometric approach, based on sexual dimorphism in size characteristics, requires consideration of population specificity and is continuously being refined. The aim of this review is to systematize and analyze modern methods for sex determination based on osteometric data from postcranial skeletal bones.

Materials and Methods. This review analyzes contemporary scientific publications dedicated to methods of sex determination from the postcranial skeleton. Three main methodological approaches are considered: methods based on univariate statistics (analysis of individual metric traits), methods of multivariate statistics (discriminant analysis, logistic regression), as well as modern technologies, including the use of computed tomography (CT) data for 3D reconstructions and the application of machine learning algorithms (specifically, deep learning) for bone image analysis.

Results and discussion. Univariate methods retain practical value due to their simplicity of application and suitability for working with fragmented material, although their accuracy is typically lower than that of multivariate methods. Multivariate statistical models, which account for a complex of interrelated traits, ensure higher accuracy in sex determination. A key factor influencing the reliability of any method is its population specificity—applying models developed for one population to another leads to a significant reduction in accuracy. The integration of CT data and artificial intelligence methods opens new prospects for automation, increased objectivity, and the discovery of new diagnostic features.

Conclusion. Modern methods for sex determination from the postcranial skeleton constitute an evolving toolkit, where traditional univariate approaches are effectively complemented by complex multivariate models and innovative technologies. To ensure high result reliability, the development and validation of population-specific standards are necessary. The future of the field is linked to the further integration of 3D visualization and machine learning methods, which will enhance the accuracy, speed, and objectivity of expert identification.

Keywords: sex estimation; postcranial skeleton; osteometry; sexual dimorphism; machine learning

Acknowledgements. The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow State University.

For citation: Kolyasnikova A.S. Modern Methods of Sex Estimation from Human Postcranial Bone. A Critical Review. *Lomonosov Journal of Anthropology*. 2026 (1), pp. 104-111. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-1-8>

Введение

Определение пола человека по костям скелета – важная задача, с которой, при работе с костным материалом, регулярно сталкиваются не только палеоантропологи, но и специалисты в области судебной медицины. Несмотря на длительную историю исследования половых различий скелета человека, разработка методов определения половой принадлежности сохраняет свою актуальность и по сей день. Зачастую кости черепа и таза, на которых наиболее выражены половые признаки, сильно фрагментированы или не сохраняются вовсе, в таком случае, для определения пола, целесообразно использовать имеющиеся кости посткраниального скелета. Традиционно используется остеометрический подход, основанный на половом диморфизме размерных характеристик костей: мужской скелет массивнее, чем женский, как ширина костей, так и расстояния между анатомо-топографическими точками у мужчин больше, чем у женщин (Пашкова, 1963). В последние десятилетия этот подход был значительно усовершенствован за счет применения многомерных статистических методов, что позволяет с высокой точностью определить пол индивидуумов даже по отдельным костям. Важнейшим аспектом, который необходимо учитывать при применении методик определения пола по остеометрическим данным, является их популяционная специфичность. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что не существует универсальных критериев для всех этнотерриториальных групп. Например, исследователи М. Искан и П. Миллер-Шайвиц установили, что для европеоидного населения лучшим индикатором пола является окружность диафиза большой берцовой кости (точность определения примерно 77%), в то время как для населения экваториального происхождения и американских индейцев – ее длина (вероятность примерно 81%) (Iskan, MillerShaivitz, 1984). Несомненно, половой диморфизм костей скелета характерен для *Homo Sapiens*, однако, степень его выраженности и характер проявления варьирует в различных популяциях. Это связано с комплексом факторов, таких как генетические особенности, условия среды, характер питания и традиционной хозяйственной деятельности. Целью настоящего обзора является систематизация и анализ

современных методов определения пола по костям посткраниального скелета, базирующихся на остеометрических данных.

Результаты и обсуждение

Методы одномерной статистики

Несмотря на активное развитие многомерных моделей методы, основанные на анализе отдельных размерных признаков, до сих пор не теряют своей актуальности. Основными преимуществами такого подхода являются простота применения и высокая эффективность при работе с фрагментированным костным материалом. Зачастую, исследователи сталкиваются ситуацией, когда для исследования доступна лишь одна кость или часть кости, применение методов многомерной статистики при таких условиях затруднительно. Простота вычислений, не требующая специальной подготовки и программного обеспечения, дает этим методам определенное преимущество при работе в полевых условиях, например, определение пола по длине кости или диаметру эпифиза хорошо работает на начальных этапах идентификации. Современные исследования в этом направлении сосредоточены на уточнении дискриминантных порогов для конкретных популяций, валидации старых методик на новых выборках и поиске новых высокоинформативных признаков на ранее недостаточно изученных костях. Например, исследование О. Экизоглу и соавторов, посвящённое разработке критериев определения пола по шейным позвонкам на основе данных компьютерной томографии жителей Турции (Ekizoglu et al., 2021). Авторами было показано, что максимальная высота тела позвонка (от C2 до C7) демонстрирует наибольшие различия у мужчин и женщин, в то время как переднезадний и поперечный диаметры позвоночного отверстия показали умеренные, но статистически значимые значения диморфизма (Ekizoglu et al., 2021). Одномерный анализ, который применили в данной работе, не только подтвердил наличие выраженных половых различий в размерах шейных позвонков, но и позволил выделить наиболее информативные признаки для последующего построения многомерных классификационных моделей, что в целом характеризует одномерные методы как эффективный инструмент первичного скрининга остеометрических маркеров половой принад-

лежности. Другим примером применения одномерной статистики для определения половой принадлежности индивидуумов по остеометрическим данным служит исследование М. Хан и соавторов (Khan et al., 2020). Для разработки антропометрических стандартов определения пола авторами был проведен анализ различных измерений плечевой кости современного населения Пакистана. В исследовании использовались результаты вскрытий, проведенных на 122 мужчинах и 52 женщинах, для каждой плечевой кости было сделано 6 измерений (максимальная длина, максимальный диаметр головки плечевой кости, вертикальный диаметр головки плечевой кости, поперечный диаметр головки плечевой кости, ширина мышечков и надмышечков). В результате, все шесть измерений демонстрировали статистически значимые различия между мужчинами и женщинами. Наиболее точными показателями в данной группе оказались максимальная длина плечевой кости и вертикальный диаметр головки плечевой кости, которые обеспечивали верность определения пола в 85% случаев. При этом точность для мужчин составила 81%, а для женщин – 94%. Другие измерения показали более низкую точность от 75% до 78% (Khan et al., 2020). Результаты этого исследования внесли вклад в разработку популяционно-специфичных стандартов для Юго-Восточной Азии. В исследовании А.В. Смирнова (Смирнов, 2017) по результатам анализа остеометрических параметров были разработаны критерии определения пола по ключицам. Измерения выполнялись на 232 ключицах из трех остеологических серий: 1 – коллекция кафедры антропологии биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова (русские, середина XX века), 2 – «Старая Ладога» (русские, XVIII век) из остеологического собрания Отдела физической антропологии Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера), 3 – коллекция Terry (отдел физической антропологии Музея естественной истории при Смитсоновском институте, Вашингтон, США) (американцы-европеоиды, XX век). Было проанализировано 13 измерений каждой ключицы и использовано два метода: одномерный и многомерный дискриминантный анализ (ОДА и МДА). В ОДА для каждого из 13 измерений была создана шкала, которая включала в себя пять интервалов: «достоверно мужской», «вероятно мужской», «неопределенный», «вероятно женский» или «до-

стоверно женский». Для МДА были разработаны две математические модели (дискриминантные функции Фишера), которые одновременно учитывают несколько наиболее информативных измерений, точность многомерных моделей составила 82,5–91,2% при проверке на независимой выборке. Авторами было показано, что одномерный анализ позволяет установить половую принадлежность с меньшей вероятностью по сравнению с многомерными моделями, однако он может использоваться в качестве экспресс-метода для быстрой оценки, особенно когда кость фрагментирована и доступен лишь один параметр (Смирнов, 2017).

Таким образом, благодаря простоте использования и возможности применения на фрагментированных костных остатках, методы одномерной статистики не утратили актуальность и могут применяться как отдельно, так и в комплексе с многомерными моделями.

Многомерная статистика

Ключевым преимуществом методов многомерной статистики перед одномерным анализом является их существенно большая диагностическая точность, которая достигается за счет одновременного учета комплекса взаимосвязанных остеометрических признаков, что позволяет модели выявлять скрытые закономерности строения скелета, характерные для каждого пола, обеспечивая точность классификации, достигающую 90% и выше. Одним из существенных ограничений использования методов многомерной статистики является плохая сохранность скелета, которая делает невозможным проведение комплексной оценки размеров из-за фрагментарности костного материала.

В качестве примера применения многомерного дискриминантного анализа можно привести исследование Н. Гаруфи и соавторов (Garoufi et al., 2021), посвященное анализу полового диморфизма шейных позвонков. Измерения проводились на сухих костях из афинской коллекции, которая находится на кафедре физиологии животных и человека Национального университета имени Каподистрии в Афинах (215 индивидуумов, жители Греции XVIII–XIX вв.) и на 3D-моделях, реконструированных по КТ-снимкам, из датской коллекции (117 индивидуумов, кафедра судебной медицины Копенгагенского университета, 2014–2016 гг.). Для анализа авторами были выбраны первый и двенадцатый

грудной позвонок, и первый поясничный позвонок. Для каждого позвонка (T1, T12, L1) проводился стандартный набор линейных измерений (всего 10 параметров), таких как глубина и ширина верхней и нижней замыкательных пластинок, высота тела позвонка, максимальная длина позвонка и др. В основе методологии лежало последовательное применение дискриминантного анализа. На первом этапе с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) и одномерного дискриминантного анализа был выявлен набор отдельных измерений, демонстрирующих статистически значимые различия между полами. Наиболее информативные из этих переменных, такие как максимальная длина позвонка и ширина нижней замыкательной пластинки, были включены в многомерные дискриминантные функции, построенные отдельно для каждого позвонка и каждой популяции. Исследование показало, что первый грудной позвонок является наиболее точным предиктором пола с точностью около 90%. Важным выводом работы стала демонстрация популяционной специфичности моделей: применение дискриминантных функций, созданных для одной популяции, к данным другой приводило к значительному снижению точности классификации – до 55–69%. Этот результат наглядно иллюстрирует, что многомерные статистические модели, несмотря на свою высокую предсказательную силу внутри исследуемой группы, требуют строгой валидации и не могут быть автоматически перенесены на другие популяции без потери точности. Таким образом, данное исследование служит примером применения многомерной статистики для решения задач судебно-антропологической идентификации (Garoufi et al., 2021).

В другом исследовании авторы использовали методы многомерной статистики для оценки половой принадлежности по морфометрическим параметрам грудины у жителей Южной Индии (Chandrakanth et al., 2012). В работе были взяты пять линейных параметров грудины: длина рукоятки, длина тела грудины, общая длина грудины, ширина на уровне первого и третьего ребра. Для анализа данных применялись два основных многомерных метода: дискриминантный анализ и логистическая регрессия. Дискриминантный анализ позволил построить функции, которые разделяют группы мужчин и женщин на основе комбинации измерений. С помощью пошагового метода были отобраны два наиболее

информативных признака: общая длина грудины и ширина на уровне первого ребра. Модель, включающая эти два параметра, показала точность определения половой принадлежности 79,5%. Логистическая регрессия, в свою очередь, использовалась для прогнозирования вероятности принадлежности индивида к мужскому или женскому полу, показала точность определения 81,2%. При этом авторы отметили, что многомерные методы превзошли по точности унивариативные модели, где каждый параметр анализировался отдельно. Это исследование наглядно демонстрирует, что многомерная статистика позволяет повысить точность определения пола за счёт одновременного учёта нескольких взаимодополняющих метрических характеристик (Chandrakanth et al., 2012).

В работе С. Пелег и соавторов (Peleg et al., 2020) были использованы методы многомерной статистики для разработки высокоточных моделей определения пола по измерениям грудины и ребер (с пятого по девятое). В исследовании применялся комплексный подход, включавший многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA) и логистическую регрессию. MANOVA позволил оценить влияние пола, происхождения (европеоиды и афроамериканцы) и их совокупность на линейную комбинацию всех измерений грудины и ребер. Результаты показали, что пол оказывает наибольшее влияние, объясняя 64,3% дисперсии, в то время как совокупность пола и происхождения – лишь 15,5%. Было установлено, что наиболее надежными элементами для определения пола являются грудина, а также левые шестое, восьмое и девятое ребра (Peleg et al., 2020).

Данные компьютерной томографии и машинное обучение

Использование данных компьютерной томографии позволяет перейти от классического анализа измерений кости к работе с 3D реконструкцией, что особенно важно, когда речь идет о фрагментированном или сложно доступном материале (Kim et al., 2013). Использование снимков КТ значительно расширяет возможности исследования, поскольку исключает необходимость взаимодействия с костным материалом и предполагает доступ к виртуальной базе данных (Santarelli et al., 2020; Shim et al., 2025; Jeong et al., 2022). Исследование, проведенное под руководством Ю.Т. Шима (Shim et al., 2025)

базировалось на анализе КТ-снимков 600 жителей Южной Кореи. По данным компьютерной томографии авторами строились точные трехмерные (3D) модели плечевых костей с помощью специализированного программного обеспечения MIMICS, на которых проводились измерения. Полученные данные стали основой для построения дискриминантных моделей. Точность определения пола, достигнутая с использованием 3D моделей, составила 89–93%, что существенно превзошло результаты традиционных методов, основанных на максимальной длине кости (75–76%) (Shim et al., 2025).

Интеграция методов искусственного интеллекта, в частности, глубокого обучения (deep learning) дает возможность анализировать большой массив данных, находить новые закономерности, а также снизить субъективность и ускорить процесс определения пола. Основным ограничением в работе с машинным обучением является необходимость обучающей выборки. Для того, чтобы нейросеть сформировала алгоритм нужно внести данные измерений или изображения костей индивидуумов (фотографии, 3D модели), для которых точно известна половая принадлежность.

В качестве примера можно привести работу Дж. Венемы и соавторов (Venema et al., 2025) в которой было использовано глубокое обучение для определения пола по двумерным фотографиям дистального эпифиза плечевой кости. Исследователи применили метод трансферного обучения к модели ResNet50 (He et al., 2016) используя данные 417 фотографий плечевых костей взрослых индивидуумов средиземноморского происхождения, для которых уже известны половозрастные определения (Лаборатория физической и судебной антропологии Университета Гранады, Испания). Модель обучалась определять пол по фотографиям задней поверхности кости. На тестовой выборке разработанная модель достигла точности 91,03%, превзойдя результат эксперта-антрополога (83,33%), использовавшего визуальный метод, и показав сопоставимую точность с более трудоемким остеометрическим методом. Для интерпретации результатов работы нейросети применялся алгоритм Grad-CAM, который визуализирует области, наиболее значимые для определения пола (Selvaraju et al., 2017). Анализ подтвердил, что модель не только автоматически выявила уже известные антропологам зоны полового диморфизма кости (такие

как форма блоковой вырезки и локтевой ямки), но и обнаружила новую, ранее не описанную область на диафизе кости, потенциально значимую для определения пола (Venema et al., 2023). Данное исследование подчеркивает несколько важных преимуществ использования искусственного интеллекта: автоматизацию трудоемкого процесса, объективность и способность выявлять новые диагностические признаки. Разработанный метод был успешно интегрирован в коммерческую платформу Skeleton-ID для использования в судебной медицине и антропологии (Martos et al., 2024).

Использование специализированного программного обеспечения

Современная судебная антропология активно использует специализированное программное обеспечение для повышения точности и стандартизации процесса определения пола. Одним из наиболее известных примеров является программа Fordisc, которая использует дискриминантные функции, разработанные на основе больших выборок современных популяций. Пользователь вводит остеометрические измерения, и программа автоматически рассчитывает вероятность принадлежности индивидуума к мужскому или женскому полу, а также к определенной популяции. Это позволяет минимизировать субъективность и человеческий фактор, а также ускоряет процесс анализа. Однако важно помнить, что точность таких программ зависит от популяционной специфичности встроенных формул. Поэтому результаты, полученные с помощью Fordisc, должны интерпретироваться с учетом происхождения исследуемых останков и, при необходимости, дополняться другими методами (Williams et al., 2005).

Заключение

Настоящий обзор показывает, что современные методы определения пола по посткраниальному скелету представляют собой арсенал инструментов, эффективность которых непрерывно растет. Одномерные методы остаются актуальными благодаря своей простоте и возможности применения к фрагментированным останкам, тогда как многомерные подходы (дискриминантный анализ, логистическая регрессия) используют комплекс значений и обеспечивают более высокую точность определения

пола. Важным фактором, определяющим надежность любой методики, является ее популяционная специфичность, что подчеркивает необходимость разработки и валидации стандартов для различных этнотерриториальных групп. Интеграция современных технологий, таких как 3D реконструкция и машинное обучение, открывает новые перспективы для повышения точности, автоматизации и объективности идентификации пола.

Список литературы

Пашкова В.И. Очерки судебно-медицинской остеологии. Определение пола, возраста и роста по костям скелета человека. М.: Медгиз. 1963. 156 с.

Смирнов А.В. Определение половой принадлежности по остеометрическим признакам скелетированных ключиц // Здоровье и образование в XXI веке. 2017. № 12. Т. 19. С. 272–276.

Chandrakanth H.V., Kanchan T., Krishan K., Arun M., Kumar G.N. Estimation of age from human sternum: an autopsy study on a sample from South India. *Int. J. Legal Med.*, 2012, 126 (6), pp. 863–868.

Ekizoglu O., Hocaoglu E., Inci E., Karaman G., Garcia-Donas J. et al. Virtual morphometric method using seven cervical vertebrae for sex estimation on the Turkish population. *Int. J. Legal Med.*, 2021, 135 (5), pp. 1953–1964. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02510-5>

Garoufi N., Bertatos A., Chovalopoulou M.E., Vlachodimitropoulos D., Villa Ch. Forensic sex estimation using the vertebrae: an evaluation on two European populations. *Int. J. Legal Med.*, 2020, 134, pp. 2307–2318. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02430-w>

He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778.

Iskan M.Y., Miller-Shaivitz P. Determination of sex from the tibia. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1984, 63, pp. 54–57.

Jeong Y. H., Koo H. N., Kim Y. S., Lee B., Kim S., Shim Y. Using 3D images of Korean's mastoid process to estimate sex: A metric study. *Forensic Imaging*, 2022, 31, 200527.

Khan M., Gul H., Mansor Nizami S. Determination of Gender from Various Measurements of the Humerus. *Cureus*, 2020, 12 (1), e6598. <https://doi.org/10.7759/cureus.6598>

Kim D.I., Lee U.Y., Park S.O., Kwak D.S., Han S.H. Identification using frontal sinus by three-dimensional reconstruction from computed tomography. *J. Forensic Sci.*, 2013, 58 (1), pp. 5–12.

Martos R., Ibáñez O., Mesejo P. Artificial intelligence in forensic anthropology: State of the art and Skeleton-ID project. *Methodological and Technological Advances in Death Investigations*, 2024, 83–153.

Peleg S., Pelleg Kallevag R., Dar G., Steinberg N., Masharawi Y., et al. New methods for sex estimation using sternum and rib morphology. *Int. J. Legal Med.*, 2020, 134, pp. 1519–1530. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02266-4>

Santarelli C., Argenti F., Ucheddu F., Alparone L., Carfagni M. Volumetric interpolation of tomographic se-

quences for accurate 3D reconstruction of anatomical parts. *Comput. Methods Programs Biomed.*, 2020, 194, 105525. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105525>

Selvaraju R.R., Cogswell M., Das A., Vedantam R., Parikh D. et al. Grad-cam: visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In: *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2017, pp. 618–626.

Shim Y.T., Kim W.K., Hyun J.Y., Choi S. et al. Sex estimation using humerus volume in a Korean population with varying bone preservation. *Sci. Rep.*, 2025, 15, 29485.

Shim Y.T., Jeong Y.H., Kim Y.S., Aum N., Choi S.G. et al. Estimation of forensic sex based on three-dimensional reconstruction of skull in Korean: non-metric study. *Korean J. Leg. Med.*, 2021, 45 (3), pp. 79–86.

Venema J., Peula D., Irurita J., Mesejo P. Employing deep learning for sex estimation of adult individuals using 2D images of the humerus. *Neural Comput. & Applic.*, 2023, 35, pp. 5987–5998. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07981-0>

Williams, Belcher R.L., Armelagos G.J. Forensic Misclassification of Ancient Nubian Crania: Implications for Assumptions about Human Variation. *Curr. Anthropol.*, 2005, 46 (2), pp. 340–346.

References

Chandrakanth H.V., Kanchan T., Krishan K., Arun M., Kumar G.N. Estimation of age from human sternum: an autopsy study on a sample from South India. *Int. J. Legal Med.*, 2012, 126 (6), pp. 863–868.

Ekizoglu O., Hocaoglu E., Inci E., Karaman G., Garcia-Donas J. et al. Virtual morphometric method using seven cervical vertebrae for sex estimation on the Turkish population. *Int. J. Legal Med.*, 2021, 135 (5), pp. 1953–1964. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02510-5>

Garoufi N., Bertatos A., Chovalopoulou M.E., Vlachodimitropoulos D., Villa Ch. Forensic sex estimation using the vertebrae: an evaluation on two European populations. *Int. J. Legal Med.*, 2020, 134, pp. 2307–2318. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02430-w>

He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778.

Iskan M.Y., Miller-Shaivitz P. Determination of sex from the tibia. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1984, 63, pp. 54–57.

Jeong Y. H., Koo H. N., Kim Y. S., Lee B., Kim S., Shim Y. Using 3D images of Korean's mastoid process to estimate sex: A metric study. *Forensic Imaging*, 2022, 31, 200527.

Khan M., Gul H., Mansor Nizami S. Determination of Gender from Various Measurements of the Humerus. *Cureus*, 2020, 12 (1), e6598. <https://doi.org/10.7759/cureus.6598>

Kim D.I., Lee U.Y., Park S.O., Kwak D.S., Han S.H. Identification using frontal sinus by three-dimensional reconstruction from computed tomography. *J. Forensic Sci.*, 2013, 58 (1), pp. 5–12.

Martos R., Ibáñez O., Mesejo P. Artificial intelligence in forensic anthropology: State of the art and Skeleton-ID project. *Methodological and Technological Advances in Death Investigations*, 2024, 83–153.

Pashkova V.I. *Essays on Forensic Osteology. Determination of Sex, Age and Height from Human Skeletal Bones*. Moscow, Medgiz Publ., 1963, 156 p. (In Russ.).

Peleg S., Pelleg Kallevag R., Dar G., Steinberg N., Masharawi Y., et al. New methods for sex estimation using sternum and rib morphology. *Int. J. Legal Med.*, 2020, 134, pp. 1519–1530. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02266-4>

Santarelli C., Argenti F., Uccheddu F., Alparone L., Carfagni M. Volumetric interpolation of tomographic sequences for accurate 3D reconstruction of anatomical parts. *Comput. Methods Programs Biomed.*, 2020, 194, 105525. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105525>

Selvaraju R.R., Cogswell M., Das A., Vedantam R., Parikh D. et al. Grad-cam: visual explanations from deep networks via gradient-based localization. In: *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2017, pp. 618–626.

Shim Y.T., Kim W.K., Hyun J.Y., Choi S. et al. Sex estimation using humerus volume in a Korean population with varying bone preservation. *Sci. Rep.*, 2025, 15, 29485.

Shim Y.T., Jeong Y.H., Kim Y.S., Aum N., Choi S.G. et al. Estimation of forensic sex based on three-dimensional reconstruction of skull in Korean: non-metric study. *Korean J. Leg. Med.*, 2021, 45 (3), pp. 79–86.

Smirnov A.V. Sex determination by osteometric features of skeletonized clavicles. *Health and Education in the XXI Century*, 2017, 12 (19)? pp. 272–276. (In Russ.).

Venema J., Peula D., Irurita J., Mesejo P. Employing deep learning for sex estimation of adult individuals using 2D images of the humerus. *Neural Comput. & Applic.*, 2023, 35, pp. 5987–5998. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07981-0>

Williams, Belcher R.L., Armelagos G.J. Forensic Misclassification of Ancient Nubian Crania: Implications for Assumptions about Human Variation. *Curr. Anthropol.*, 2005, 46 (2), pp. 340–346.

Информация об авторе/ Information about the author

Колясникова Анна Сергеевна, к.б.н.,
НИИ и Музей антропологии, Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Российская
Федерация;

kas181994@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2278-5948>

Kolyasnikova Anna Sergeevna, Ph.D., Anuchin Research
Institute and Museum of Anthropology, Lomonosov Moscow
State University, Moscow, Russian Federation;

kas181994@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2278-5948>

Поступила в редакцию 02.12.2025.
Получена после доработки 09.12.2025.
Принята к публикации 09.12.2025.

Received 02.12.2025.

Revised 09.12.2025.

Accepted 09.12.2025.