

Информация об авторах:

Марина Викторовна Маркеева – доцент кафедры анатомии человека им. В.С. Сперанского, кандидат медицинских наук, mmarina-2011@mail.ru, ORCID 0000-0002-3297-1747; **Ольга Юрьевна Алешкина** – заведующая кафедрой анатомии человека им. В.С. Сперанского, профессор, доктор медицинских наук, aleshkina_ou@mail.ru, ORCID 0000-0003-2151-1208; **Тарасова Наталья Валерьевна** – заведующая кафедрой оториноларингологии, профессор, доктор медицинских наук, tarasova-nv@mail.ru, ORCID 0000-0003-1929-5155; **Юрий Александрович Гладиллин** – профессор кафедры анатомии человека им. В.С. Сперанского, доцент, доктор медицинских наук, GladilinUA@mail.ru, ORCID 0000-0003-2623-561X; **Александр Анатольевич Зайченко** – профессор кафедры анатомии человека им. В.С. Сперанского, профессор, доктор медицинских наук, zaichenko1958@mail.ru, ORCID 0000-0003-3683-6507.

Information about the authors:

Marina V. Markeeva – Assistant Professor of the Department of Human Anatomy, PhD, mmarina-2011@mail.ru, ORCID 0000-0002-3297-1747; **Olga Yu. Aleshkina** – Head of the Department of Human Anatomy n.a. V.S. Speransky, Professor, DSc, aleshkina_ou@mail.ru, ORCID 0000-0003-2151-1208; **Natalia V. Tarasova** – Head of the Department of Otorhinolaryngology, Professor, DSc, tarasova-nv@mail.ru, ORCID 0000-0003-1929-5155; **Yuriy A. Gladilin** – Professor of Department of Human Anatomy, Associate Professor, DSc, GladilinUA@mail.ru, ORCID 0000-0003-2623-561X; **Alexander A. Zaichenko** – Professor of the Department of Human Anatomy n. a. V.S. Speransky, Professor, DSc, zaichenko1958@mail.ru, ORCID 0000-0003-3683-6507.

УДК 611.714+572.71+572.08

EDN: QOOHEB

<https://doi.org/10.15275/ssmj2202264>

Оригинальная статья

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ КРАНИОСКОПИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА ЭКСПЕРТОМ И АЛГОРИТМОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К.В. Соловьев¹, И.В. Гайворонский¹⁻³, И.Г. Ширококов⁴, А.А. Зайченко⁵

¹ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» Минобрнауки России, Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

⁴ФГБУН «Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого» РАН, Санкт-Петербург, Россия

⁵ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF SEX ESTIMATION FROM CRANIAL MORPHOLOGICAL TRAITS BY AN EXPERT AND A MACHINE LEARNING ALGORITHM

K.V. Solovyev¹, I.V. Gaivoronsky¹⁻³, I.G. Shirobokov⁴, A.A. Zaichenko⁵

¹Kirov Military Medical Academy, Saint-Petersburg, Russia

²Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

³Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

⁴Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (Kunstkamera), Saint-Petersburg, Russia

⁵V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russia

Для цитирования: Соловьев К.В., Гайворонский И.В., Ширококов И.Г., Зайченко А.А. Сравнение результативности краниоскопического определения пола экспертом и алгоритмом машинного обучения. Саратовский научно-медицинский журнал. 2026; 22 (2): 264-272. EDN: QOOHEB. <https://doi.org/10.15275/ssmj2202264>

Аннотация. Цель: на отечественном краниологическом материале установить сравнительную точность оценок пола, вынесенных на основании визуальных заключений экспертов и при помощи алгоритма машинного обучения. **Материал и методы:** Проведено исследование 159 черепов взрослых людей с задокументированным полом из краниологических коллекций Военно-медицинской академии. Проводилась балльная оценка 5 признаков (glabella, nuchal crest, mastoid process, supraorbital margin, mental eminence) согласно методике A. Klaes и S. Cole, к которой были предложены оригинальные дополнения (изменение интерпретации балльной оценки признаков). Полученные данные интерпретировались экспертами и при помощи программы MorphoPASSE. **Результаты.** Самый информативный признак – глабелла (84% точности), далее следует – сосцевидный отросток (75%), надглазничный край (68%), подбородочное возвышение (68%) и наружный затылочный выступ (67%). В обеих сериях на мужских черепах зафиксированы более высокие показатели точности (до 97,6%). Наиболее точные оценки определения пола женских черепов (до 85,1%) достигнуты при использовании алгоритма машинного обучения. Точность экспертной оценки и программы MorphoPASSE в общей выборке составила 83,6%. **Заключение.** Предложенные нами оригинальные дополнения методики Клейлс–Коул повышают точность экспертных оценок черепов женского пола на 12%. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования программы MorphoPASSE в современных исследованиях черепов восточно-европейского населения.

Ключевые слова: оценка пола, морфология черепа, машинное обучение, MorphoPASSE, судебная антропология

For citation: Solovyev KV, Gaivoronsky IV, Shirobokov IG, Zaichenko AA. Comparison of the effectiveness of sex estimation from cranial morphological traits by an expert and a machine learning algorithm. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2026; 22 (2): 264-272. (In Russ.) EDN: QOOHEB. <https://doi.org/10.15275/ssmj2202264>

Abstract. Objective: to assess the comparative effectiveness of two approaches to sex estimation: visual expert assessment and the cranial morphological scoring method proposed by A. Klaes and S. Cole. **Material and methods.** The study examined 159 adult skulls of documented sex. The material comprised two cranial series from the collection of the Kirov Military Medical Academy. Five ordinal cranial traits (glabella, nuchal crest, mastoid process, supraorbital margin, and mental eminence) were scored according to the Klaes and Cole method, to which original additions were

proposed. The resulting scores were used both for expert assessment and for algorithmic classification employing a random forest model implemented in MorphoPASSE. The data obtained was interpreted by experts and using the MorphoPASSE program. Results. The most informative feature is the glabella (84% accuracy), followed by the mastoid process (75%), the supraorbital margin (68%), the chin elevation (68%) and the external occipital protrusion (67%). In both series, higher accuracy rates were recorded on male turtles (up to 97.6%). The most accurate estimates of determining the sex of female skulls (up to 85.1%) were achieved using a machine learning algorithm. The accuracy of the expert assessment and the MorphoPASSE program in the total sample was 83.6%. *Conclusion.* The original additions of the Kleils-Cole methodology proposed by us increase the accuracy of expert assessments of female skulls by 12%. The results obtained allow us to conclude that the MorphoPASSE program can be used in modern studies of the skulls of the Eastern European population.

Keywords: sex estimation, cranial morphology, machine learning, MorphoPASSE, forensic anthropology

Введение. Определение половой принадлежности по костным останкам представляет собой одну из главных прикладных задач судебной медицины и палеоантропологии, которая встает перед экспертом или антропологом в начале практически любого исследования [1, 2].

При определении пола исследователи отдают предпочтение описательным, а не измерительным методам [1, 3]. Сущность краниоскопического подхода заключается в качественной оценке морфологических признаков на основе визуального наблюдения с использованием специально разработанных шкал, трафаретов, номограмм и нормативных таблиц. В настоящее время существует два принципа описательной оценки особенностей рельефа черепа: альтернативно-варирующий и балльный [1, 3]. Хотя традиционно измерительные подходы считаются более точными и надежными, в случае с определением пола по черепу эмпирические данные свидетельствуют о большей эффективности описательных методов [4]. Следует отметить, что краниоскопические методики определения пола не предполагают наличия у исследователя специальных (порой редких и дорогих) измерительных приборов, тем самым представляя особую диагностическую ценность благодаря своей доступности.

Общезвестным является тот факт, что тело мужчины является более массивным и крупным в сравнении с телом женщины. Аналогичная закономерность отмечается и для черепов. При сравнении мужских и женских черепов с явно выраженными особенностями внешней формы даже неспециалист сможет верно определить половую принадлежность. Считается, что мужские черепа, в среднем, являются более крупными, рельефными и массивными в сравнении с женскими. Как правило, на них сильнее развиты комплекс надпереносья (включающий в себя собственно глабеллу, надбровные дуги, а иногда и надглазничные треугольники). На гипермаскулином черепе в области скулового отростка определяется выраженный рельеф надглазничного треугольника, который позволяет дать максимальную оценку в 5 баллов и считать его достоверным признаком мужского пола. Комплекс подбородочного возвышения (включающий в себя одноименные бугорки и выступ), на мужских черепах более явно выражены места начала-прикрепления мышц (наружные затылочные выступ и гребень, выйные линии, сосцевидный и яремные отростки, височные и клиновидные гребни, скуловые бугорки, бугристости угла нижней челюсти, челюстно-подъязычные линии и подбородочные ости) [3]. Такие особенности внешней формы черепа взрослого человека объясняются разным гормональным фоном, а также более продолжительным

периодом роста и развития опорно-двигательного аппарата у мужчин.

Несмотря на приоритетное значение тазовых костей при установлении пола по костным останкам, череп по-прежнему остается одним из наиболее популярных и притягательных объектов для анализа межполовых различий как в современной судебной медицине, так и в физической антропологии [1, 2]. В тех случаях, когда исследователь обладает полным набором костей человеческого индивида, достигаются наибольшие показатели эффективности при установлении пола (до 97,8% по данным R. Thomas и соавторы (2016)) [5].

В настоящее время существует целый ряд краниоскопических методик определения половой принадлежности. Среди отечественных методик стоит отметить алгоритм В.Н. Звягина (1983), в котором разработан перечень из 40 описательных бинарных признаков, с заявленной эффективностью в 93,5% и претендующий на универсальность [1,2]. Среди зарубежных методик наиболее популярной стала диаграмма американских археологов Джейн Байкстра (J. Buikstra) и Дугласа Убелакера (D. Ubelaker) (1994), включающая 5 балльных описательных признаков [3]. Позднее Филиппом Уокером (P. Walker) (2008) опубликованы уравнения бинарной логистической регрессии, повышающие надежность данной методики и учитывающие значимость (удельный вес) каждого из признаков [6]. К настоящему времени рассчитаны и опубликованы десятки популяционно-специфических уравнений, предназначенных для работы с выборками из европейских и азиатских стран [1, 7]. Однако подобных уравнений, предназначенных для работы с выборками из черепов русского населения, не разработано.

В 2018 г. Александрой Клейлс (A. Kiales) и Стефани Коул (S. Cole) разработана программа MorphoPASSE [3, 8], позволяющая использовать при оценке пола как классические уравнения бинарной логистической регрессии, так и более гибкий алгоритм случайного леса (random forest classification) – один из инструментов машинного обучения (machine learning). Суммарно обучающая выборка включает в себя более 2000 черепов взрослых людей с известной половой принадлежностью. Исследователь может редактировать состав обучающей серии, опираясь на имеющуюся информацию о древности скелета, регионе его происхождения и расе. Программа позволяет использовать для оценки пола любую комбинацию из 5 признаков черепа и 3 признаков таза, доступных для наблюдения. К ней также прилагается иллюстрированное руководство по первичной оценке признаков и интерпретации результатов. Программа находится в свободном доступе в сети: <https://morphopasse.shinyapps.io/morphoPASSE/>.

Цель – на отечественном краниологическом материале установить сравнительную точность оценки пола, вынесенных на основании визуальных

Ответственный автор – Кирилл Владимирович Соловьев
Corresponding author – Cyril V. Solov'yev
E-mail: kirill_solovik@mail.ru

заключений экспертов и при помощи алгоритма машинного обучения.

Материал и методы. Проведено ретроспективное наблюдательное краниологическое исследование, в ходе которого исследовано 159 черепов европеоидной расы, первого и второго периодов зрелого возраста с заведомо известным полом, без деформаций и разрушений из собрания фундаментального анатомического музея кафедры нормальной анатомии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова.

Первая серия насчитывала 89 черепов (42 принадлежали мужчинам, 47 – женщинам), отобранных для исследования из краниологической коллекции А.И. Таренецкого (последняя четверть XIX в.). Вторая серия включала 70 черепов (35 принадлежали мужчинам, 35 – женщинам), отобранных из краниологической коллекции Б.А. Долго-Сабунова (вторая четверть XX в.) [9].

Следует отметить, что исследователям (непосредственно проводившим экспертную краниоскопическую оценку пола по черепам) до окончания времени измерений и оценки балльных признаков не была известна информация о поле индивидов. Для оценки правильности сделанных исследователем заключений полученные данные сопоставлялись с паспортными сведениями из каталогов.

Для определения половой принадлежности черепа использовалась балльная краниоскопическая методика А. Клейлс и С. Коул [3,8], согласно которой оценивали следующие признаки: 1) наружный затылочный выступ и верхние выйные линии (nuchal crest, NC), 2) сосцевидный отросток (mastoid process, MP), 3) верхний край глазницы (supra-orbital margin, SO), 4) глabella/надпереносье (glabella or supraorbital ridge, G), 5) подбородочное возвышение (mental eminence, ME). Каждый из признаков оценивался в баллах от 1 до 5, где значения баллов 1 и 5 соответствовали минимальной и максимальной степени выраженности признаков, соответственно.

При оценке пола в первой серии черепов авторы определяли балльные оценки 5 признаков согласно руководству Клейлс – Коул, а также оценивали пол, исходя из общих впечатлений о черепе. Эти данные использовались для оценки межисследовательских расхождений, результаты которой приводятся в отдельной публикации [7]. Визуальные оценки, выполненные при исследовании второй серии, опирались на предложенные нами оригинальные дополнения к методике:

Во всех случаях (особенно в спорных) признак G считали наиболее весомым. Значения 1 и 2 расценивали как «женские», 3, 4 и 5 – как «мужские».

При оценке признака ME особое внимание обращалось на выраженность подбородочных бугорков и расстояние между ними. Градации 1 и 2 соответствовали «женским», 3, 4 и 5 – «мужским».

Признак MP считался «мужским» только при оценке в 5 баллов, женским – при оценках в 1 и 2 балла. Значения 3 и 4 балла считали средними и оценивали в зависимости от выраженности G и ME.

Важную роль играли на характеристики угла нижней челюсти: степень его выступления за линию основания нижней челюсти, степень его наружной ротации, выраженность жевательной и крыловидной бугристостей.

В соответствии указанием В.П. Алексеева и Г.Ф. Дебеца, в спорных случаях, когда нельзя уверенно

определить половую принадлежность черепа, его стоит относить к женскому [10].

Балльные оценки авторов (экспертов) и заключения о половой принадлежности черепов заносились в электронный краниологический бланк, сформированный в программе Microsoft Excel. Затем эти же оценки обрабатывались через программу MorphoPASSE. Использовали следующие настройки программы: method – MorphoPASSE Random Forest, temporal period – contemporary, ancestry – white, region – unknown (поскольку в составе обучающей выборки, заложенной в программу, отсутствуют черепа русских европеоидов). Для соответствующей обучающей выборки значимость признаков уменьшается в последовательности G-NC-MP-ME-SO.

Заключения о половой принадлежности, сделанные исследователями и программой MorphoPASSE, сопоставляли с паспортными данными каталогов. Показатели эффективности (точности) вычисляли следующим образом: точность установления пола у мужчин (женщин) оценивали как долю корректных определений пола мужчин (женщин) от реального числа всех мужчин (женщин) в выборке. Так же интерпретировали общую точность оценок – как долю всех корректных определений относительно общего числа черепов. Проверку соответствия распределений параметрам закона нормального распределения проводили по критерию Шапиро – Уилка с использованием онлайн-платформы datanovia.com. Установленное соответствие ненормальному распределению стало причиной применения непараметрического U-критерия Манна – Уитни для сравнения значений балльных признаков.

Результаты. В табл. 1 приведены показатели точности оценок пола, сделанные экспертами по общему визуальному впечатлению на основании балльных характеристик внешней формы черепа, а также рассчитанные при помощи программы MorphoPASSE.

Наш опыт краниоскопической оценки свидетельствует о высокой встречаемости сомнительных наблюдений (спорные случаи, когда нельзя уверенно определить половую принадлежность). Количество таких наблюдений составляет при экспертной оценке от 10 до 15%. Анализ табл. 1 показал, что при исследовании черепов женского пола в составе первой серии заключения, сделанные программой MorphoPASSE, оказались более точными (85,1% по сравнению с экспертной оценкой – 68,1%). Это связано с тем, что в этой серии не учитывались предложенные нами дополнения по интерпретации балльных характеристик. При оценке черепов из второй серии с учетом предложенных дополнений заключения, сделанные экспертом, во всех 3 случаях (только мужских черепов, только женских и в составе общей выборки) оказались точнее. Сравнительная точность оценок, сделанных экспертом и с помощью программы MorphoPASSE на общей выборке, сопоставима (83,6%). Независимо от способа оценки более высокие показатели точности (до 97,6%) наблюдались при диагностике половой принадлежности мужских черепов.

На рис. 1 приведены значения балльных оценок черепов, сделанных экспертом, половая принадлежность которых установлена верно и на основе визуальной оценки, и при использовании алгоритма программы. Подтверждается, что для мужских черепов свойственны более высокие значения балльных признаков, а для женских – более низкие. Наиболее удачным и точным признаком, позволяющим судить о половой принадлежности черепа, является глabella

Таблица 1

Доли правильно классифицированных черепов согласно визуальным оценкам человека и при использовании программы MorphoPASSE

Выборка	Способ оценки	Точность оценки, % (абс./абс.)		
		мужской пол	женский пол	общая выборка
Первая серия черепов (n=89)	Эксперт	97,6 (41/42)	68,1 (32/47)	81,8 (73/89)
	MorphoPASSE	88,1 (37/42)	85,1 (40/47)	86,4 (77/89)
Вторая серия черепов (n=70)	Эксперт	91,4 (32/35)	80,0 (28/35)	85,7 (60/70)
	MorphoPASSE	88,6 (31/35)	71,4 (25/35)	80,0 (56/70)
Обе серии черепов (n=159)	Эксперт	94,8 (73/77)	73,1 (60/82)	83,6 (133/159)
	MorphoPASSE	88,3 (68/77)	79,3 (65/82)	83,6 (133/159)

(самые маленькие зоны перекрытия в мужских и женских выборках). Причем для мужских черепов характерны значения баллов 3, 4 и 5, а для женских черепов – 1 и 2. На втором месте по эффективности оказался верхний край глазницы (зоны перекрытия в мужских и женских выборках не так велики в обеих исследуемых сериях), причем мужским черепам свойственны значения баллов 3, 4 и 5, а женским черепам – 1, 2 и 3.

По данным обеих выборок признак наружный затылочный выступ (nuchal crest) является наименее

показательным (самые большие зоны перекрытия в обеих выборках): мужским черепам могут быть свойственны значения от 2 до 5 баллов, а женским – от 1 до 4. Только в случае выставления оценки 1 или 5 можно с уверенностью судить по этому признаку о принадлежности черепа определенному полу.

Признаки MP и ME можно считать удовлетворительными: несмотря на имеющиеся зоны перекрытия, мужским черепам свойственны значения баллов 4 и 5, а женским черепа – 1 и 2. Оценка 3 балла не позволяет отнести череп к тому или иному полу.

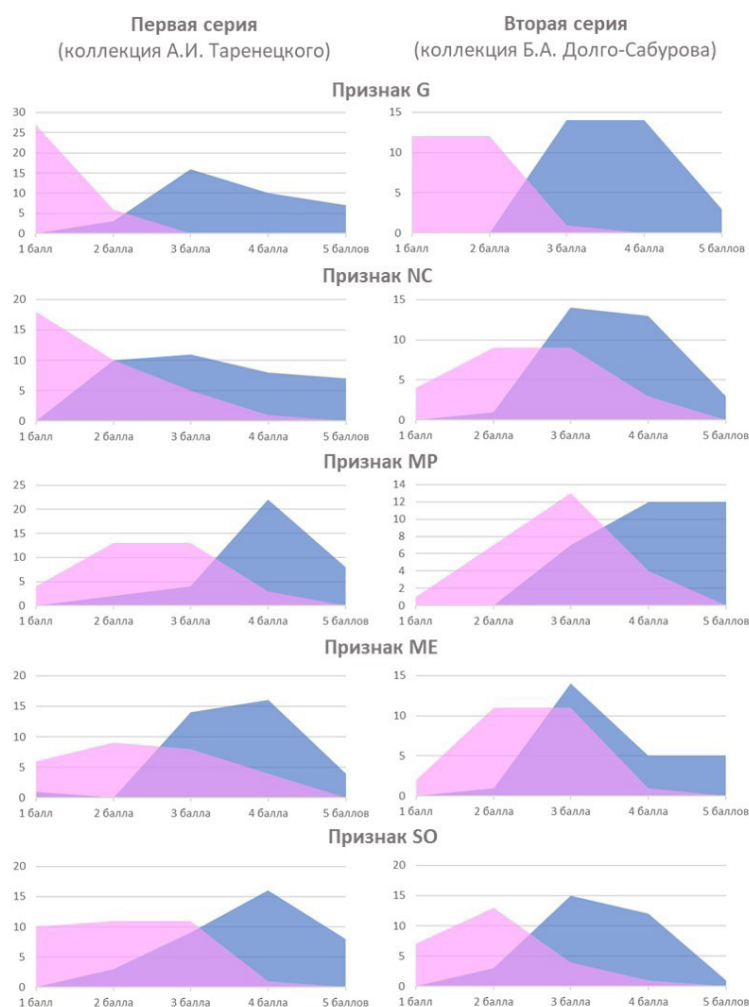


Рис. 1. Количественное распределение балльных признаков при верной краниоскопической оценке женских и мужских черепов из разных коллекций; ■ – оценки женских черепов, ■ – оценки мужских черепов; G – glabella, NC – nuchal crest, MP – mastoid process, ME – mental eminence, SO – supraorbital margin

Для проверки этих наблюдений проведена одномерная оценка информативности каждого из признаков. Для выявления различий между мужской и женской выборками применялся непараметрический критерий Манна – Уитни, а вклад каждого признака в разделение полов оценивался с помощью одномерной логистической регрессии со стандартизацией предиктора. Для всех пяти признаков выявлены статистически значимые различия между половыми группами ($p < 0,001$). Наибольшей силой эффекта характеризовался признак гласселлы (G), продемонстрировавший максимальное значение стандартизованного регрессионного коэффициента и наивысшую точность классификации (84%). Признак МР также вносит выраженный вклад в разделение полов (75%). Наименее выраженные эффекты получены для SO (68%), ME (68%), NC (67%), значения регрессионных коэффициентов и точность классификации которых были минимальными.

Больше всего сложностей у экспертов возникало при присвоении балльных характеристик во время оценки признака nuchal crest. Прежде всего хочется заметить, что подобный термин отсутствует в Международной анатомической терминологии. А. Клейлс понимает под этим термином комплекс из следующих признаков: наружный затылочный выступ

и верхние выйные линии. Однако остается не ясным, почему другие детали внешнего рельефа затылочной чешуи (наружный затылочный гребень, нижние выйные линии) оказываются проигнорированы? На рис. 2 приведены различные варианты комбинаций рельефных образований на наружной поверхности чешуи затылочной кости. На рис. 2, а приведена фотография черепа с выраженным наружным затылочным выступом и едва заметными верхними выйными линиями, что, согласно методике, приравнивается к 3 баллам. На рис. 2, б изображен череп с явными, уступообразными верхними выйными линиями, и заметным, но более слабо выраженным в сравнении с предыдущим вариантом наружным затылочным выступом, однако такого варианта комбинации признаков в методике не описано, авторами было решено присвоить данному черепу также значение в 3 балла. Обратим также внимание на то, что и в первом, и во втором случаях черепа принадлежали женщинам. На рис. 2, в изображен череп с очень слабо выраженными верхними выйными линиями, но с заметным наружным затылочным выступом, продолжающимся в выраженный наружный затылочный гребень – подобный случай снова не описан в оригинальной методике. При присвоении баллов данному признаку (2 или 3) между экспертами возникали разногласия. Данный

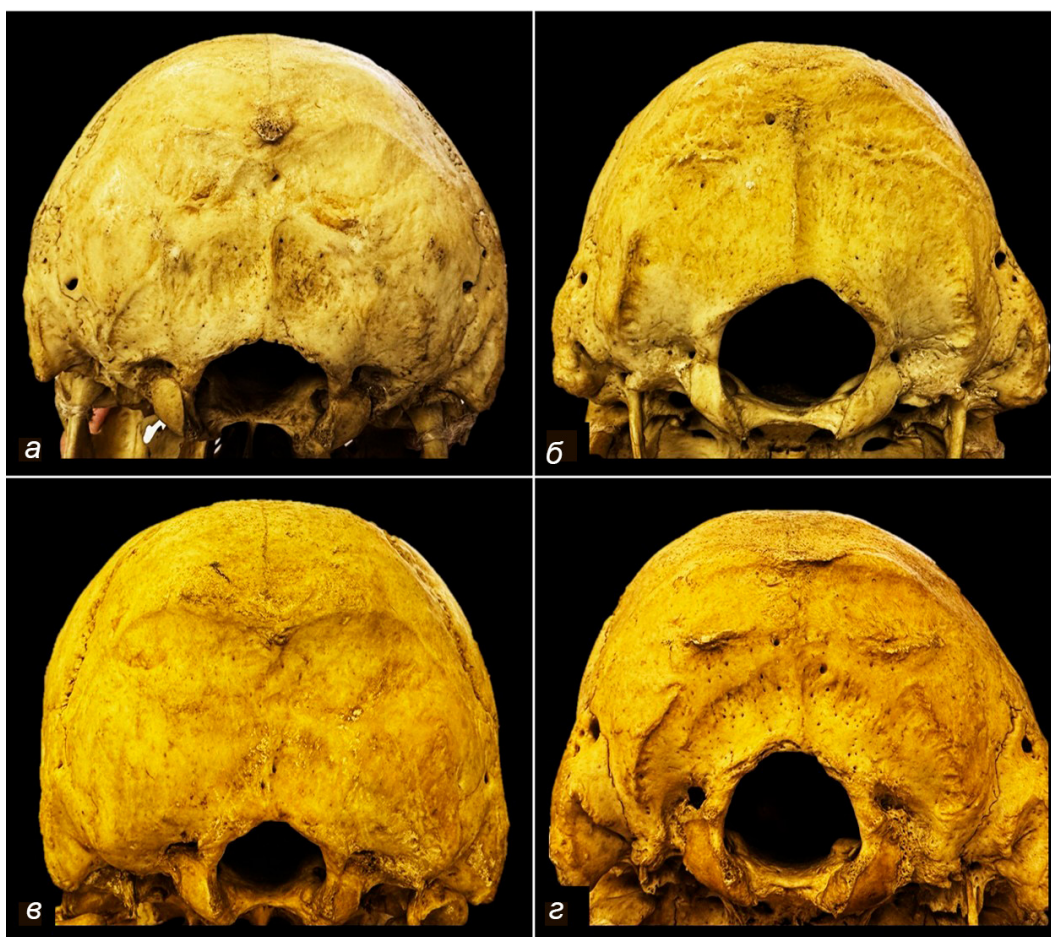


Рис. 2. Рельефные образования на наружной поверхности чешуи затылочной кости и их балльные оценки согласно рекомендациям из методики Клейлс – Коул: а – выраженный наружный затылочный выступ, но едва заметные верхние выйные линии, средняя степень развития наружного затылочного гребня (3 балла); б – выраженный наружный затылочный выступ, слабо развитые верхние выйные линии, выраженный наружный затылочный гребень (2 или 3 балла в зависимости от оценки эксперта); в – выраженный наружный затылочный выступ, рельефные уступообразные верхние выйные линии, слабо выраженный наружный затылочный гребень (3 балла); г – явно выраженный наружный затылочный выступ, развитые верхние и нижние выйные линии, хорошо визуализируются места прикрепления подзатылочной группы мышц (5 баллов)

череп принадлежал мужчине. Наконец, на рис. 2, а изображен череп с явно выраженными наружным затылочным выступом и верхними выйными линиями, а также со следами мест прикрепления мышц к латеральным и медиальным участкам нижних выйных линий, которые также не были упомянуты в оригинальной методике. Оценка всей совокупности данных признаков позволила авторам присвоить данному черепу значение в 5 баллов при оценке параметра nuchal crest. Данный череп принадлежал мужчине.

В табл. 2 приведены балльные характеристики черепов с неверно установленным полом экспертом, программой MorphoPASSE, экспертом и программой. Во время обследования первой серии при определении черепов женского пола экспертами сделан ряд ошибок, которых можно было бы избежать, используя параллельно тестируемую программу. И в первой, и во второй сериях обнаружен хотя бы один череп, который и по визуальной оценке исследователя, и по заключению программы является явно мужским (апостериорные вероятности – 1 и 0,99), однако в

Таблица 2

Балльные характеристики черепов с неверно установленным полом

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Серия	Пол			Апост. вер-ть	Признак				
	Пасп.	Чел	RF		G	NC	MP	ME	SO
1	М	Ж	Ж	0,84	1	1	3	4	3
1	М	М	Ж	0,63	3	2	3	4	3
1	М	М	Ж	0,98	2	2	3	3	4
1	М	М	Ж	0,70	2	2	3	4	3
1	М	М	Ж	0,61	2	2	4	3	4
1	М	М	Ж	0,81	2	2	3	4	4
1	М	М	Ж	0,78	1	2	3	4	4
1	Ж*	М*	М*	1*	5*	4*	5*	4*	5*
1	Ж	М	М	0,81	3	2	3	4	4
1	Ж	М	М	0,66	3	2	3	3	4
1	Ж	М	М	0,96	4	3	3	4	3
1	Ж	М	М	0,85	3	3	2	2	5
1	Ж	М	М	0,66	3	2	3	3	4
1	Ж	Ж	М	0,61	2	3	3	4	1
1	Ж	М	Ж	0,69	2	3	4	1	3
1	Ж	М	Ж	0,99	2	3	3	2	3
1	Ж	М	Ж	0,94	2	3	2	3	3
1	Ж	М	Ж	0,68	2	3	4	4	3
1	Ж	М	Ж	0,58	2	1	4	4	4
2	М	Ж	Ж	0,78	4	2	3	3	4
2	М	Ж	Ж	0,98	2	3	2	2	3
2	М	Ж	Ж	0,52	2	3	3	3	2
2	М	М	Ж	0,81	2	3	4	1	2
2*	Ж*	М*	М*	0,99*	5*	3*	5*	5*	5*
2	Ж	М	М	0,64	2	4	4	5	2
2	Ж	М	М	0,98	3	5	4	4	4
2	Ж	М	М	0,97	3	3	4	4	3
2	Ж	М	М	0,92	3	5	5	4	3
2	Ж	М	М	0,92	4	3	4	1	2
2	Ж	М	М	0,54	2	4	4	3	4
2	Ж	Ж	М	0,53	3	1	4	2	3
2	Ж	Ж	М	0,64	2	5	3	1	2
2	Ж	Ж	М	0,55	2	3	3	4	4

Примечание. Пасп. – паспортный пол (согласно данным каталога); Чел. – пол, установленный исследователем; RF – пол, установленный при помощи программы MorphoPASSE; Апост. вер-ть – апостериорная вероятность согласно данным программы MorphoPASSE [11].

каталоге эти черепа отмечены как женские (в таблице данные черепа отмечены звездочкой).

Анализ табл. 2 показал, что главной трудностью при диагностике пола у мужских черепов из этой группы являлось слабо развитое надпереносье, оцененное в 1 и 2 балла. Однако человеку даже в таких случаях иногда удавалось сделать правильное заключение, в то время как программа неизбежно совершала ошибки, так как придавала величине глабеллы слишком большой удельный вес в сравнении с другими признаками. Аналогичный характер ошибок наблюдался и при оценках женских черепов, поскольку на большинстве неверно определенных черепов степень развития глабеллы оценивалась 3 и даже 4 баллами. При оценке мужских черепов развитое подбородочное возвышение, оцененное 3 или 4 баллами, а также притупленные и утолщенные надглазничные края, также оцененные 3 или 4 баллами, помогали эксперту принять правильное решение, несмотря на слабую степень развития надпереносья, в то время как степень развития сосцевидного отростка являлась не показательной. Стоит отметить, что в большинстве случаев при оценке пола женских черепов, когда человек выносил неверное заключение, а программа – наоборот, верное, эксперт придавал слишком большое значение рельефным характеристикам черепа, обусловленным местами начала прикрепления мышц. В 1 случае тяжелый по своей массе женский череп также привел эксперта к неверному выводу.

Обсуждение. Несмотря на наличие ряда измерительных методик для определения пола, многие антропологи и судебные медики продолжают полагаться на описательные методики. По данным А. Клейлс, большинство антропологов (63,6%) задачу определения пола решают комплексно: используя и краниоскопические, и краниометрические методики. В остальных случаях, когда необходимо воспользоваться только одной методикой, эксперты отдают предпочтение описательным методам (23,9%) почти в 2 раза чаще, чем измерительным (12,5%) [3].

Важным фактором, потенциально влияющим на точность алгоритмической классификации, являются межисследовательские расхождения в оценке исходных балльных признаков. Как показано в ряде исследований, вариабельность трактовки морфологических критериев, особенно в пограничных категориях шкал, может приводить к существенным различиям в итоговых классификационных решениях даже при использовании идентичных алгоритмов обработки данных [12, 13]. Ранее авторами при работе с первой серией показано, что расхождения в интерпретации морфологических признаков между исследователями способны вносить систематическую погрешность, сопоставимую по величине с влиянием межпопуляционных различий в пределах европеидной расы [7]. В этом контексте ограниченная точность программы MorphoPASSE в настоящем исследовании может быть обусловлена не только особенностями алгоритма случайного леса и состава обучающей выборки, но и вариативностью исходных экспертных оценок, на которых базируется алгоритмическая классификация. Кроме того, вопреки рекомендациям авторов программы, исследователи при анализе учитывали баллы подбородочного возвышения (это обстоятельство не могло серьезно повлиять на точность, поскольку признак не обладает высокой значимостью для алгоритма, обученного на современных европеидных группах).

Это наблюдение не позволяет исключать вторичный характер ошибки алгоритма по отношению к неопределенности морфологической интерпретации признаков.

Оценка признаков согласно руководству Клейлс – Коул проводилась исследователями независимо друг от друга и, теоретически, отклонения в оценках должны носить случайный характер, а значит, усредненные оценки будут в наилучшей степени соответствовать грациям в руководстве. Оценки баллов, полученные авторами при работе с коллекцией А.И. Таренецкого, усреднены, и проведен анализ признаков при помощи программы MorphoPASSE. В 2 из 11 случаев некорректных оценок пола получены правильные определения. Это наблюдение подтверждает негативное влияние межисследовательских расхождений на точность модели машинного обучения, что по меньшей мере отчасти связано со сложностями строгой балльной оценки отдельных признаков.

Согласно предыдущему исследованию авторов при проведении независимого тестирования среднее снижение ожидаемых показателей точности для статистических моделей, основанных на использовании различных комбинаций 5 краниоскопических признаков, составляет примерно 7% [7]. Это наблюдение подтверждается в данной работе. Согласно расчетам, приводимым программой MorphoPASSE, точность определений пола по 5 признакам в тестовой выборке современного европеидного населения составляет 91%. В нашей работе показатель составил 84%. Как показано выше, этот результат отчасти обусловлен расхождениями в оценках исходных признаков. До некоторой степени, вероятно, он также связан с разной диагностической ценностью признаков в исследуемой выборке и в обобщенной европеидной серии, используемой в качестве обучающей выборки программой MorphoPASSE.

В оригинальной публикации J. Buikstra и D. Ubelaker указываются следующие градации баллов: 1 – явно женский, 2 – вероятно женский, 3 – неопределенный, 4 – вероятно мужской, 5 – явно мужской признак. С подобными градациями мы согласиться не можем. Для признаков G и ME более корректными будут следующие градации: 1 – явно женский, 2 – женский признак; 3 – вероятно мужской, 4 – мужской, 5 – явно мужской признак.

Высокая диагностическая значимость признака G подтверждается и другими исследователями (J. Stevenson и соавт., A. Capella и соавт., T. Baresa и соавт.) [14–16], которыми также предложены свои уравнения для определения половой принадлежности черепов с учетом популяционных особенностей. Однако нами не найдено работ, которые бы наглядно иллюстрировали несостоятельность такого признака, как NC. Мы обнаружили другие сведения, показывающие при оценке данного признака весьма высокие показатели межисследовательской согласованности [3].

Антропологи XX в. (A. Hrdlicka, W. Krogman) указывают на то, что при оценке черепа без нижней челюсти точность определения пола составляет не более 80%; при наличии полного комплекта костей черепа точность повышается до 90–92% – по данным А. Хрдлички, до 92% – по данным В. Крэгмана. При обладании полным скелетом возможно достичь порога точности в 96–98% [6, 17]. Нам кажутся эти цифры сильно завышенными, так как в современных исследованиях не удается достичь таких показателей точности [1, 3, 5, 11]. Представляется, что для

методики краниоскопического определения пола по порогу точности в 85–90% – это отличный показатель.

Мы также обращали внимание, что балльные признаки из диаграммы J. Buikstra и D. Ubelaker по сути являются комплексами характеристик черепа. Комплекс *glabella* включает не только собственно область надпереносья, но также и область надбровных дуг, а иногда и надглазничных треугольников (последние могут соединяться с надбровными дугами, формируя надглазничные валики) [10]. Несмотря на то, что надглазничные валики считаются неандертальской чертой в строении черепа, они иногда (менее 5% случаев) встречаются на мужских черепах, комплекс G которых оценен в 5 баллов. Комплекс характеристик *mental eminence* не менее интересен: он включает в себя подбородочный выступ (*protuberantia mentalis*) и подбородочные бугорки (*tubercula mentalia*), которые при достаточном развитии формируют подобие треугольника или перевернутой буквы «Т» [18]. Особую роль здесь играет характер расположения подбородочных бугорков – в случаях, когда они сливаются, формируя единую структуру, можно сделать заключение о принадлежности нижней челюсти женщине. В случаях, когда они широко расставлены, формируя почти прямоугольную площадку в нижней трети челюсти, можно сделать заключение о принадлежности ее мужчине.

Поскольку в обеих выборках обнаружены черепа с явными мужскими характеристиками, записанные в каталогах как женские, нельзя всецело доверять имеющимся паспортным данным. В подобных случаях оправдано проведение молекулярно-генетической экспертизы. Однако следует помнить, что не всегда генетический пол совпадает с соматическим [2]. Если исключить из выборок черепа, идентифицированный пол которых слишком явно не совпадает с паспортным, то общая точность тестируемой методики составит 92,5%. Такой показатель точности сопоставим с «золотым стандартом» отечественной краниоскопической методики, предложенной В.Н. Звягиным, с заявленной эффективностью в 93,5% [2]. Однако следует заметить, что последняя методика включает 40 признаков, которые требуется оценить исследователю, а алгоритм A. Kales – всего 5, заметно повышая скорость исследования без существенных снижений точности.

Заключение. Точность признаков описательной оценки при диагностике пола черепов восточноевропейского (преимущественно русского и финского) населения составляет: глабелла – 84%, сосцевидный отросток – 75%, надглазничный край, подбородочное возвышение и наружный затылочный выступ – 68, 68 и 67% соответственно. Предложенные нами оригинальные дополнения методики Клейлс и Коул (изменение интерпретации балльной оценки признаков) повышают точность экспертных оценок черепов женского пола на 12%. Результаты краниоскопической оценки опытных экспертов и алгоритма машинного обучения продемонстрировали примерно одинаковую точность (83,6%), что позволяет сделать вывод о возможности использования программы MorphoPASSE в научных исследованиях, а также ставит вопрос о создании более эффективной и универсальной методики краниоскопической оценки.

Конфликт интересов отсутствует.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Информированное согласие на публикацию. Ввиду специфики статьи – не требуется.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Соответствие принципам этики. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом. Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской декларации.

References (Список источников)

1. Shirobokov IG. On the relative accuracy of the skull sex estimation. Lomonosov Journal of Anthropology. 2023;4:69-80. (In Russ.) Ширококов И.Г. Об относительной точности оценки пола по черепу. Вестник Московского университета. Сер. 23: Антропология. 2023;4:69-80. DOI:10.32521/2074-8132.2023.4.069-080
2. Gaivoronsky IV, Fandeyeva OM, Nichiporuk GI, Gaivoronskaya MG. Comparative characteristics of the methods for determining the somatic sex of an adult person with the use of a skull. Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2018;3(63):207-13. (In Russ.) Гайворонский И.В., Фандеева О.М., Ничипорук Г.И., Гайворонская М.Г. Сравнительная методика определения соматического пола взрослого человека по черепу. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2018;3(63):207-13. DOI:10.17816/bmra12360
3. Kales AR, Ed. Sex estimation of the human skeleton: history, methods, and emerging techniques. London: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2020; 378 p.
4. Solovyev KV, Magdich AE, Kirillova MP. Comparative effectiveness of the national methods of sex determination based on an adult's skull. Russian Military Medical Academy Reports. 2021;40(S1-3):304-8. (In Russ.) Соловьев К.В., Мадич А.Е., Кириллова М.П. Сравнение результативности отечественных методик определения пола по черепу взрослого человека. Известия Российской военно-медицинской академии. 2021;40(S1-3):304-8. EDN:EPHJUG
5. Thomas RM, Parks CL, Richard AH. Accuracy rates of sex estimation by forensic anthropologists through comparison with DNA typing results in forensic casework. J Forensic Sci. 2016;61(5):1307-10. DOI: 10.1111/1556-4029.13137
6. Walker PL. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. Am J Phys Anthropol. 2008;136(1):39-50. DOI:10.1002/ajpa.20776
7. Shirobokov IG, Uchaneva EN, Solovyev KV, et al. Validation of methods for morphoscopic assessment of gender based on the skull of an adult human. Camera praehistorica. 2026;1 (In print). (In Russ.) Ширококов И.Г., Учанева Е.Н., Соловьев К.В., Гайворонский И.В. Валидация методов морфоскопической оценки пола по черепу взрослого человека. Camera praehistorica. 2026;1 (в печати).
8. Kales AR, Cole SJ. MorphoPASSE: The morphological pelvis and skull sex estimation database manual. Version 1.0. Topeka: Washburn University, 2018; 34 p.
9. Gaivoronsky IV, Solovyov KV. Craniological collections of the department of normal anatomy of the Military Medical Academy – the national treasure and unique base for scientific research. Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2022;18(4):596-603. (In Russ.) Гайворонский И.В., Соловьев К.В. Краниологические коллекции кафедры нормальной анатомии Военно-медицинской академии – национальное достояние и уникальная база для научных исследований. Саратовский научно-медицинский журнал. 2022;18(4):596-603.
10. Alekseev VP, Debec GF. Kraniometriya. Metodika antropologicheskikh issledovanij. Moscow: Nauka, 1964; 128 p. (In Russ.) Алексеев В.П., Дебеч Г.Ф. Краниометрия. Методика антропологических исследований. М.: Наука, 1964; 128 с.
11. Lesciotto KM, Kales AR. Using posterior probability informed thresholds to develop best practice recommendations for MorphoPASSE using the innominate, cranial, and combined traits. J Forensic Sci. 2026;71(1):182-96. DOI:10.1111/1556-4029.70192
12. Lewis CJ, Garvin HM. Reliability of the walker cranial nonmetric method and implications for sex estimation. J Forensic Sci. 2016;61(3):743-51. DOI:10.1111/1556-4029.13013
13. Williams BA, Rogers TL. Evaluating the accuracy and precision of cranial morphological traits for sex determination.

J Forensic Sci. 2006;51(4):729-35. DOI:10.1111/j.1556-4029.2006.00177.x

14. Stevenson JC, Mahoney ER, Walker PL, Everson PM. Technical note: Prediction of sex based on five skull traits using decision analysis (CHAID). Am J Phys Anthropol. 2009;139(3):434-41. DOI:10.1002/ajpa.21042

15. Cappella A, Bertoglio B, Di Maso M, et al. Sexual dimorphism of cranial morphological traits in an Italian sample: A population-specific logistic regression model for predicting sex. Biology (Basel). 2022;11(8):1202. DOI:10.3390/biology11081202

16. Bareša T, Jerković I, Bašić Ž, et al. Walker's traits for sex estimation in modern Croatian population using MSCT virtual cranial database: Validation and development of population-specific standards. Forensic Imaging. 2024;36:200578. DOI: 10.1016/j.fri.2024.200578

17. Krogman WM. The human skeleton in forensic medicine. Postgrad Med. 1955;17(2):A-48. PMID:13236779

18. Vaccarezza M, Varotto E, Galassi FM, et al. Mental eminence in the historical, surgical and anthropological perspective: A scoping review. Anatomia. 2025;4(17):1-19. DOI: 10.3390/anatomia4040017

Статья поступила в редакцию 06.03.2026; одобрена после рецензирования 27.04.2026; принята к публикации 27.05.2026.
The article was submitted 06.03.2026; approved after reviewing 27.04.2026; accepted for publication 27.05.2026.

Информация об авторах:

Кирилл Владимирович Соловьев – аспирант кафедры нормальной анатомии, kirill_solovik@mail.ru, ORCID 0000-0001-5527-0495; **Иван Васильевич Гайворонский** – заведующий кафедрой нормальной анатомии, профессор, доктор медицинских наук, i.v.gaivoronsky@mail.ru, ORCID 0000-0002-6836-5650; **Иван Григорьевич Широбок** – старший научный сотрудник музея антропологии и этнографии РАН, кандидат исторических наук, ivansmith@bk.ru, ORCID 0000-0002-3555-7509; **Александр Анатольевич Зайченко** – профессор кафедры анатомии человека им. В.С. Сперанского, профессор, доктор медицинских наук, zaichenko1958@mail.ru, ORCID 0000-0003-3683-6507.

Information about the authors:

Kirill V. Solovyev – Post-Graduate Student of the Department of Normal Anatomy, kirill_solovik@mail.ru, ORCID 0000-0001-5527-0495; **Ivan V. Gaivoronsky** – Head of the Department of Normal Anatomy, Professor, DSc, i.v.gaivoronsky@mail.ru, ORCID 0000-0002-6836-5650; **Ivan G. Shirobokov** – Senior Research Fellow, PhD, ivansmith@bk.ru, ORCID 0000-0002-3555-7509; **Alexander A. Zaichenko** – Professor of the Department of Human Anatomy n. a. V.S. Speransky, Professor, DSc, zaichenko1958@mail.ru, ORCID 0000-0003-3683-6507.