

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИСКРИМИНАНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛА ПО СКЕЛЕТИРОВАННЫМ ГРУДНЫМ ПОЗВОНКАМ ЧЕЛОВЕКА

М.К. Карапетян

ФГБУ «Медико-генетический научный центр» РАМН, Москва

МГУ имени М.В.Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, Москва

В работе проанализированы остеометрические данные по грудным позвонкам индивидов европейского происхождения, проживавших на территории России и Северной Америки в XVIII – начале XX вв. В результате дискриминантного анализа разработаны три остеометрические модели, позволяющие определять пол с точностью 86–90% по комплексам верхних, средних и нижних грудных позвонков. Группа верификации включала индивидов, случайным образом исключенных из обучающей выборки, а также останки индивидов из раннесредневекового могильника с территории Северной Осетии-Алании и несколько экспертных случаев. Тестирование моделей на этой группе дало 89–90% верных решений. Эффективность остеометрической оценки пола по грудным позвонкам не уступает значениям, представленным в литературе для большинства других костей посткраниального скелета. Представленные в работе модели могут способствовать диагностике пола человека в тех случаях, когда морфологические признаки пола на тазовых костях и черепе не определяются.

Ключевые слова: палеоантропология, остеометрия, грудные позвонки, определение пола, дискриминантный анализ

Введение

В палеоантропологическом контексте определение пола человека может быть затруднено в тех случаях, когда традиционные источники для экспертизы – череп и тазовые кости – фрагментированы, и не дают однозначного результата. В таких случаях решению проблемы могут способствовать остеометрические критерии, разработанные для других частей скелета [Звягин, Синева, 2007; Iscan, 1985; Smith, 1996, 1997], включая шейные [Карапетян, 2013; Marino, 1995; Wescott, 2000], поясничные позвонки [Джамолов, 1976; Воронцова, 2011; Звягин, Карапетян, 2012] и позвоночник в целом [Янкаускас, 1988].

Есть достаточное количество свидетельств о существовании значительных половых различий не только в абсолютных величинах позвоночника [Джамолов, 1976; Янкаускас, 1988], но и в форме грудной клетки и грудно-поясничных позвонков [Янкаускас, 1988; Mashrawi et al., 2010; Bastir et al., 2014]. В частности, женский осевой скелет обладает некоторыми особенностями, которые связываются с адаптацией к вынашиванию ребенка. Например, исследования показывают, что у женщин менее выражен грудной кифоз и более подчеркнут поясничный лордоз, а положение по-

звоночника в грудной клетке менее глубокое в сравнении с его положением у мужчин из-за отличающейся ориентации поперечных отростков [Mashrawi et al., 2010; Bastir et al., 2014]. К сожалению, недостаточно подробно изучен половой диморфизм метрических характеристик грудных позвонков. Подробные исследования информативной значимости грудных позвонков в вопросе определения пола представлены лишь единичными работами [например, MacLaughlin, Oldale, 1992].

Целью настоящей работы была разработка и тестирование остеометрических моделей для определения пола по скелетированным грудным позвонкам человека.

Материалы и методы

Диагностические критерии разрабатывались на основе объединенной выборки, включающей пять остеологических серий: серия американцев европейского происхождения XX в. из коллекции Терри Национального музея естественной истории Вашингтона (США), [Hunt, Albanese, 2005]; серия канадцев европейского происхождения XX в. из

Таблица 1. Характеристика исследованных коллекции

Название остеологической коллекции и ее место нахождения	Географическое происхождение коллекции	Хронологические данные выборки	Пол	Число индивидов		
				18–55 лет	>55 лет	Всего
Серия жителей Москвы, коллекция кафедры антропологии МГУ имени М.В.Ломоносова	г. Москва	1950-е гг.	♂	43	–	43
			♀	11	–	11
Серия жителей села Козино, коллекция НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В.Ломоносова	село Козино, Московская обл.	XVIII в.	♂	62	7	69
			♀	34	6	40
Серия американцев европейского происхождения, коллекция Терри, Национальный музей естественной истории Вашингтона (США)	штат Миссури (США)	1924–1966 гг.	♂	44	11	55
			♀	46	12	58
Серия канадцев европейского происхождения, коллекция Грант, Университет Торонто (Канада)	г. Торонто (Канада)	1931–1950 гг.	♂	39	37	76
			♀	9	9	18
Серия из могильника Мамисондон, коллекция НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В.Ломоносова	Северная Осетия-Алания (Северный Кавказ)	VII–IX вв. н.э.	♂	19	–	19
			♀	9	–	9
ВСЕГО:						398

коллекции Грант Университета Торонто (Канада) [Bedford et al., 1993]; серия жителей Москвы середины XX века из коллекции кафедры антропологии МГУ имени М.В.Ломоносова и серия жителей села Козино Московской губернии XVIII в. из коллекций НИИ и Музея антропологии МГУ. Основная информация об изученных сериях представлена в табл. 1. Пол индивидов из коллекций Терри и Грант достоверно известен, благодаря сопутствующей медицинской информации, сохранившейся в архивах музейных коллекций. В то же время, для серий кафедры антропологии МГУ и Козино пол определялся традиционными морфологическими методами [Алексеев, 1966; Acsádi, Nemeskéri, 1970].

Группа верификации включала:

- 1) 37 индивидов мужского и 17 – женского пола, случайным образом отобранных из обучающей выборки до проведения дискриминантного анализа;
- 2) останки индивидов из раннесредневекового могильника Мамисондон с территории Северной Осетии-Алании (табл. 1) [Албегова, Верещинский-Бабайлов, 2010];
- 3) четыре экспертных случая, исследованных в Лаборатории судебно-медицинских идентификационных исследований Российского Центра судебно-медицинской экспертизы Минздрава

России (мужского пола в возрасте 30–63 лет; данные о поле и возрасте предоставлены д.м.н. В.Н. Звягиным);

- 4) три индивида из захоронений Ново-Иерусалимского монастыря¹ (одна женщина 56 лет и двое мужчин 27 и 63 лет).

Все анализируемые индивиды относились к евразийской расе и имели полностью сформированные позвонки с приросшим кольцевым валиком, без выраженных патологий на позвоночнике и со стандартным числом грудных позвонков (12).

В работе рассмотрены следующие признаки:

Передняя и задняя высота тела позвонка [Алексеев, 1966].

Верхний и нижний сагиттальный диаметр тела позвонка [Алексеев, 1966] (без учета краевых костных разрастаний).

Средняя ширина тела позвонка [Алексеев, 1966].

Верхняя и нижняя суставная ширина. Наибольшее расстояние между верхними или нижними суставными поверхностями (аналог размеров 11 и 12 [Джамолов, 1978]).

Все признаки измерялись штангенциркулем с точностью до 0.1 мм.

¹ Материалы Ново-Иерусалимской экспедиции Института археологии РАН, 2010–2011 гг., руководитель Л.А. Беляев. В настоящий момент останки перезахоронены.

Таблица 2. Точность предложенных дискриминантных моделей диагностики пола, %

Анализируемая область, позвонки	Обучающая выборка			Группа верификации		
	♂	♀	♂ и ♀	♂	♀	♂ и ♀
1–4 грудные	89.8	91.2	90.3	90.2	85.7	89.1
6–8 грудные	84.3	89.9	86.3	88.9	93.3	90.0
9–12 грудные	86.0	92.9	88.5	90.0	87.5	89.3
Объем выборки	206	110	316	62	27	89

Данные анализировались в программе STATISTICA v. 8.0. Для построения классификационных моделей применен пошаговый дискриминантный анализ с учетом рекомендаций В.Е. Дерябина [Дерябин, 2007]. Оценка вероятности (P) принадлежности индивида мужскому или женскому полу проводилась по значению логистической функции, вычисляемой по разности между значениями дискриминантных функций для мужской (Dm) и женской (Df) совокупностей (Dm–Df). Решения подразделялись следующим образом [Звягин с соавт., 1998]:

$Dm - Df \geq 3.1 \rightarrow$ практически достоверно мужчина ($P > 0.95$);

$Dm - Df \leq -3.1 \rightarrow$ практически достоверно женщина ($P > 0.95$);

$1.1 \leq Dm - Df < 3.1 \rightarrow$ вероятно, мужчина ($0.75 \leq P \leq 0.95$);

$-3.1 < Dm - Df \leq -1.1 \rightarrow$ вероятно, женщина ($0.75 \leq P \leq 0.95$);

$-1.1 < Dm - Df < 1.1 \rightarrow$ пол не определен, то есть отказ от решения ($P < 0.75$).

Результаты

Анализ обучающей выборки позволил разработать три дискриминантные модели для грудных позвонков № 1–4 (Т1–Т4), № 6–8 (Т6–Т8) и № 9–12 (Т9–Т12). Точность диагностики пола составила 86–90%, причем наиболее точно пол определялся по модели для 1–4 грудных позвонков (табл. 2). В целом, точность классификации мужчин была несколько ниже, чем женщин. Заметим, что из исследованных признаков в модели вошли только размеры тела позвонка. Дискриминантные уравнения имеют следующий вид:

Для позвонков Т1–Т4

$Df(\text{муж.}) = (9.66 \times \text{Задняя высота тела Т1}) + (6.02 \times \text{Сагиттальный диаметр тела Т1}) + (7.80 \times \text{Средняя ширина тела Т3}) + (9.93 \times \text{Задняя высота тела Т4}) - 342.828.$

$Df(\text{жен.}) = (8.57 \times \text{Задняя высота тела Т1}) + (5.59 \times \text{Сагиттальный диаметр тела Т1}) + (6.93 \times \text{Средняя ширина тела Т3}) + (9.38 \times \text{Задняя высота тела Т4}) - 284.336.$

Для позвонков Т6–Т8

$Df(\text{муж.}) = (9.46 \times \text{Задняя высота тела Т6}) + (3.41 \times \text{Средняя ширина тела Т6}) + (5.62 \times \text{Передняя высота тела Т7}) + (3.68 \times \text{Нижний сагиттальный диаметр тела Т8}) - 258.353.$

$Df(\text{жен.}) = (8.85 \times \text{Задняя высота тела Т6}) + (3.12 \times \text{Средняя ширина тела Т6}) + (5.17 \times \text{Передняя высота тела Т7}) + (3.13 \times \text{Нижний сагиттальный диаметр тела Т8}) - 213.959.$

Для позвонков Т9–Т12

$Df(\text{муж.}) = (14.71 \times \text{Задняя высота тела Т9}) + (2.02 \times \text{Нижний сагиттальный диаметр тела Т9}) + (0.19 \times \text{Средняя ширина тела Т10}) + (1.62 \times \text{Нижний сагиттальный диаметр тела Т11}) + (2.76 \times \text{Средняя ширина тела Т12}) - 281.299.$

$Df(\text{жен.}) = (13.53 \times \text{Задняя высота тела Т9}) + (1.60 \times \text{Нижний сагиттальный диаметр Т9}) + (0.59 \times \text{Средняя ширина тела Т10}) + (1.34 \times \text{Нижний сагиттальный диаметр Т11}) + (2.24 \times \text{Средняя ширина тела Т12}) - 229.527.$

Процент практически достоверных решений ($P > 95\%$) для обучающей выборки находится в пределах 34–57% (мужчины) и 40–51% (женщины). Наибольший процент таких решений получен по моделям для 9–12 грудных позвонков (57% – для мужчин и 51% – для женщин), однако относительно высокий процент характерен и для модели, включающей размеры 1–4 грудных позвонков (48% – для мужской, 51% – для женской выборки) (табл. 3).

Точность диагностики пола при тестировании моделей на группе верификации составила 89–90%. Мужчины в среднем классифицировались более успешно (исключая модель для Т6–Т8), что может быть связано с малым объемом женской серии (табл. 2). Процент практически достоверных решений в группе верификации составил 42–63% для мужской и 36–63% – для женской вы-

Таблица 3. Классификация наблюдений согласно половой принадлежности и уровню вероятности решения. Обучающая выборка и группа верификации

Дискриминантная модель	Пол	Результат классификации, %					
		Достоверно Муж. ($p \geq 0.95$)	Вероятно Муж. ($0.75 \leq p < 0.95$)	Неопределенно ($p < 0.75$)		Вероятно Жен. ($0.75 \leq p < 0.95$)	Достоверно Жен. ($p \geq 0.95$)
				Муж.	Жен.		
<i>Обучающая выборка</i>							
Т1–Т4	Муж.	48.4	23.6	17.8	3.2	7.0	0.0
	Жен.	0.0	3.3	5.5	12.1	28.6	50.5
Т6–Т8	Муж.	34.1	37.7	12.6	9.0	5.4	1.2
	Жен.	0.0	3.4	6.7	18.0	31.5	40.4
Т9–Т12	Муж.	57.3	17.3	11.3	4.7	8.0	1.3
	Жен.	0.0	2.4	4.7	15.3	27.1	50.6
<i>Группа верификации</i>							
Т1–Т4	Муж.	63.4	14.6	12.2	4.9	2.4	2.4
	Жен.	7.1	7.1	0.0	28.6	21.4	35.7
Т6–Т8	Муж.	42.2	28.9	17.8	6.7	4.4	0.0
	Жен.	0.0	6.7	0.0	13.3	33.3	46.7
Т9–Т12	Муж.	57.5	22.5	10.0	5.0	2.5	2.5
	Жен.	0.0	12.5	0.0	6.3	18.8	62.5

борки (табл. 3). Наиболее эффективной в этом отношении была модель Т9–Т12 (58% высоковероятных решений для мужской выборки и 63% – для женской, а также самый низкий процент решений с $P < 0.75$). Очевидно, основная часть ошибочных решений была сконцентрирована в интервале «неопределенных» и «вероятных» значений логистической функции.

Обсуждение

В целом, эффективность предложенных моделей колеблется в пределах 86–90% для обучающей выборки, и 89–90% – для группы верификации той же расы. Согласно литературным источникам, эффективность определения пола по шейным и поясничным позвонкам находится в пределах 60–96% [Джамолов, 1976; Янкаускас, 1988; Звягин, Карпетян, 2012; Воронцова, 2011; Карпетян, 2013; Marino, 1995; Wescott, 2002]. В литературных источниках высокая точность диагностики пола достигнута при анализе поясничных позвонков (86–95%) [Воронцова, 2011; Звягин, Карпетян, 2012], а также при анализе второго шейного (до 89%) [Wescott, 2000] и комплекса шейных позвонков (89–92%) [Карпетян, 2013]. В то же время, как нам удалось показать, грудные

позвонки не менее информативны в вопросе определения пола.

Очевидно, точность метода должна повышаться при увеличении числа анализируемых остеометрических характеристик. Однако модели, включающие большое число признаков, непрактичны: чем больше признаков включено в уравнение, тем больше вероятность того, что какие-то из них будут недоступны для измерения. Модели, представленные в настоящей работе, включают не более пяти признаков, локализованных на теле позвонка. При этом они не уступают по точности моделям, включающим большое число признаков. Например, Р.П. Янкаускасом предложена дискриминантная модель, включающая 30 признаков, точность которой составляет всего 80% [Янкаускас, 1988].

В среднем, эффективность остеометрической оценки пола по грудным позвонкам в исследованных нами выборках не уступала по эффективности диагностике пола по большинству других костей посткраниального скелета. Так, правильная диагностика пола по остеометрическим характеристикам ребер возможна в 83% случаев [Iscaп, 1985]; кости стопы и кисти позволяют диагностировать пол в 73–94% случаев [Falsetti, 1995; Smith, 1996; Smith, 1997; Bidmos et al., 2004]; а длинные трубчатые кости – в 74–95% случаев [Звягин, Синова, 2007].

Заключение

Предложены три дискриминантные модели для оценки пола по группам верхних грудных (1–4), средних грудных (6–8) и нижних грудных (9–12) позвонков. Точность диагностики пола находилась в пределах 86–90% для обучающей выборки и 89–90% – для группы верификации. Представленные в работе модели позволяют диагностировать пол человека в тех случаях, когда морфологические признаки пола на тазовых костях и черепе не определяются. При использовании метода желательны принимать во внимание вероятность решений и учитывать только те из них, которые попадают в практически достоверный интервал ($P > 0.95$).

Благодарность

Работа выполнена при поддержке исследовательского гранта Смитсоновского института (2012 г.). Выражаю благодарность д.мед.н., проф. В.Н.Звягину, к.б.н. А.А. Евтееву, Н.Я. Березиной и А.Н. Расказовой за предоставленные материалы.

Библиография

Албегова З.Х. *Верещинский-Бабайлов Л.И.* Раннесредневековый могильник Мамисондон: результаты археологического исследования 2007–2008 гг. в зоне строительства водохранилища Зарамагских ГЭС. М.: ТАУС, 2010. 492 с.

Алексеев В.П. Остеометрия: методика антропологических исследований. М.: Наука, 1966. 251 с.

Воронцова Е.Л. К вопросу о половой идентификации по поясничным позвонкам поясничного отдела человека // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2011. № 1. С. 62–68.

Дерябин В.Е. Решение задач обработки антропологических данных с использованием компьютера. М.: Биологический факультет МГУ, 2007. 79 с.

Джамолов Д.Д. Видовая, половая и возрастная характеристика поясничных позвонков для задач судебно-медицинского отождествления личности. Дисс. ... канд. мед. наук. М., 1976. 147 с.

Звягин В.Н., Самоходская О.В., Иванов Н.В., Аль-Мамони Р.Д. Критерии идентификации личности по черепу и прижизненной фотографии // Суд.-мед. экспертиза, 1998. № 41(3). С. 48–55.

Звягин В.Н., Синева И.М. Определение половой принадлежности по остеометрическим признакам верхней и нижней конечностей с использованием дискриминантного анализа // Суд.-мед. экспертиза, 2007. № 5. С. 18–21.

Звягин В.Н. Карапетян М.К. Определения групповых и индивидуализирующих признаков взрослого человека при экспертизе поясничных позвонков (методические рекомендации). М.: РИО ФГБУ «РЦСМЭ» Минздравсоцразвития России, 2012. 79 с.

Карапетян М.К. Диморфизм шейных позвонков человека: остеометрические модели для определения пола // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2013. Вып. 4. С. 80–92.

Янкаускас Р.П. Морфологические особенности позвоночного столба и факторы его изменчивости. Дисс. ... канд. мед. наук. Вильнюс, 1988. 316 с.

Acsádi G.Y., Nemeskéri J. History of human life span and mortality. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1970. 346 p.

Bastir M., Higuero A., Rios L., Martinez G. Three-dimensional analysis of sexual dimorphism in human thoracic vertebrae: implications for the respiratory system and spine morphology // Am. J. Phys. Anthropol., 2014. P. 513–521.

Bedford M.E., Russell K.F., Lovejoy C.O., Meindl R.S., Simpson S.W., Stuart-Macadam P.L. Test of multifactorial aging method using skeletons with known ages-at-death from the Grant collection // Am. J. Phys. Anthropol., 1993. Vol. 91(3). P. 287–297.

Bidmos M.A., Dayal M.R. Further evidence to show population specificity of discriminant function equations for sex determination using the talus of South African Blacks // J. Forensic Sci., 2004. Vol. 49(6). P. 1165–1170.

Falsetti A.B. Sex assessment from metacarpals of the human hand // J. Forensic Sci., 1995. Vol. 40(5). P. 774–776.

Hunt D.R., Albanese J. History and demographic composition of the Robert J. Terry anatomical collection // Am. J. Phys. Anthropol., 2005. Vol. 127. P. 406–417.

Iscan M.Y. Osteometric analysis of sexual dimorphism in the sternal end of the rib // J. Forensic Sci., 1985. Vol. 30. P. 1090–1099.

MacLaughlin S.M., Oldale K.N.M. Vertebral body diameters and sex prediction // Ann. Human Biol., 1992. Vol. 19(3). P. 285–292.

Marino L.A. Sex estimation using the first cervical vertebra // Am. J. Phys. Anthropol., 1995. Vol. 97. P. 127–133.

Mashrawi Y., Dar G., Peleg S., Steinberg N., Medley B., May H., Abbas J., Hershkovitz I. A morphological adaptation of the thoracic and lumbar vertebrae to lumbar hyperlordosis in young and adult females // Eur. Spine J., 2010. P. 768–773.

Smith S.L. Attribution of hand bones to sex and population groups // J. Forensic Sci., 1996. Vol. 41(3). P. 469–477.

Smith S.L. Attribution of foot bones to sex and population groups // J. Forensic Sci., 1997. Vol. 42(2). P. 186–195.

Wescott D.J. Sex variation in the second cervical vertebra // J. Forensic Sci., 2000. Vol. 45(2). P. 462–466.

Контактная информация:

Карапетян Марина Кареновна: e-mail: marishkakar@hotmail.com.

ACCURACY OF DISCRIMINANT MODELS FOR SEX ESTIMATION FROM SKELETONIZED HUMAN THORACIC VERTEBRAE

M. Karapetian

*Research Centre for Medical Genetics, Russian Academy of Medical Sciences, Moscow
Lomonosov Moscow State University, Research Institute and Museum of Anthropology, Moscow*

An osteometric study of thoracic vertebrae belonging to individuals of European ancestry who lived in Russia and North America in 18-20th C. was performed. Three discriminant functions were developed for superior, middle and inferior thoracic vertebrae. The accuracy of sex estimation was 86-90% in the reference sample. The test sample consisted of several individuals randomly excluded from the reference sample as well as skeletal remains of Early Medieval settlers from North Ossetia-Alania and several other individuals. Testing of the models on this sample gave 89-90% of correctly classified cases. Osteometric sex determination using thoracic vertebrae is possible with approximately the same accuracy as using other parts of the postcranial skeleton. Discriminant models, presented in this study, can be used for sex estimation in cases when sex indicators on the cranium and pelvic bones cannot be recognized.

Keywords: bioarchaeology, osteometry, thoracic vertebrae, sex estimation, discriminant analysis