

## ·论 著·

## 中国维吾尔族人颅骨性别识别方法

杨稳, 刘晓宁, 朱菲, 刘雄乐, 朱丽品

(西北大学信息科学与技术学院, 陕西 西安 710127)

**摘要:**目的 利用 Logistic 回归方法建立多元回归性别判别函数, 对新疆吐鲁番地区维吾尔族成年人完整颅骨模型以及无额骨、无枕骨、无下颌骨的不完整颅骨模型分别进行性别判别。方法 对 CT 设备采集得到 117 个三维颅骨模型(男性 60 个, 女性 57 个), 利用计算机软件测量并统计颅骨的 16 项测量指标, 采用 Logistic 回归方法建立多元回归性别判别函数, 对方程进行回代检验。结果 16 项测量指标中, 除鼻宽( $x_7$ )和颅骨最大宽( $x_{13}$ )外, 其余 14 项测量指标在男女性之间的差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。由眉弓凸度( $x_4$ )、乳突间宽( $x_6$ )、颅骨最大长( $x_{12}$ )、颅底长( $x_{15}$ )、颅周长( $x_{16}$ ) 5 项测量指标建立的完整颅骨性别判别函数, 男、女性的判别准确率分别为 90.0%、94.7%; 由下颌角宽( $x_{10}$ )、下颌体高( $x_{11}$ )、颅周长( $x_{16}$ ) 3 项测量指标建立的无额骨颅骨模型性别判别函数, 男、女性的判别准确率分别为 85.0% 和 84.2%; 由眉弓凸度( $x_4$ )建立的无枕骨颅骨模型性别判别函数, 男、女性的判别准确率分别为 80.0% 和 73.7%; 由额骨弦( $x_5$ )、枕外隆凸度夹角( $x_9$ ) 2 项测量指标建立的无下颌骨颅骨模型性别判别函数, 男、女性的判别准确率分别为 85.0% 和 78.9%。结论 本研究开发的计算机软件和特征点标定系统可以实现完整颅骨以及无额骨、无枕骨和无下颌骨等颅骨的性别判别。

**关键词:** 法医人类学; 颅骨; Logistic 模型; 性别判别分析; 维吾尔族

中图分类号: DF795.6 文献标志码: A doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2019.02.013

文章编号: 1004-5619(2019)02-0200-05

## Sex Recognition of Skulls in Chinese Uygur

YANG Wen, LIU Xiao-ning, ZHU Fei, LIU Xiong-le, ZHU Li-pin

(School of Information Science and Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** **Objective** Logistic regression method was used to establish a multiple regression sex discriminant function to discriminate the complete skull model and the incomplete skull model without frontal bone, occipital bone and mandible of Uygur adults in Turpan, Xinjiang. **Methods** A total of 117 (60 male and 57 female) three-dimensional skull models were collected by CT. Sixteen cranial measurement indexes were measured and calculated by computer software. The multivariate regression sex discriminant function was established with Logistic regression method and retrospectively tested. **Results** Among the 16 measurement indexes, except for nose width ( $x_7$ ) and maximum frontal breadth ( $x_{13}$ ), the remaining 14 indexes had statistical significance of differences between male and female ( $P < 0.05$ ). For the discriminant function of complete skull established by eyebrow arch convexity ( $x_4$ ), mastoid width ( $x_6$ ), maximum cranial length ( $x_{12}$ ), cranial base length ( $x_{15}$ ), cranial circumference ( $x_{16}$ ), the male and female discrimination accuracy was 90.0% and 94.7%, respectively. For the sex discriminant function of incomplete skull without frontal bone established by mandibular angle width ( $x_{10}$ ), mandibular height ( $x_{11}$ ) and cranial circumference ( $x_{16}$ ), the discrimination accuracy of male and female was 85.0% and 84.2%, respectively. For the sex discriminant function of incomplete skull without occipital bone established by the index of eyebrow arch convexity ( $x_4$ ), the discrimination accuracy of male and female was 80.0% and 73.7%, respectively. For the sex discriminant function of incomplete skull without mandible established by frontal chord ( $x_5$ ) and occipital protrusion angle ( $x_9$ ), the discrimination accuracy of male and female was 85.0% and 78.9%, respectively. **Conclusion** The computer software and system developed in our study can achieve sex discrimination of complete skulls and incomplete skulls without frontal bone, occipital bone or mandible.

**Keywords:** forensic anthropology; skull; logistic models; sexual discriminant analysis; Uygur nationality

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61305032); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2018JM6061); 西北大学研究生自主创新资助项目(YZZ17181)

作者简介: 杨稳(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事模式识别与计算机辅助颅面复原研究; E-mail: 920759301@qq.com

通信作者: 刘晓宁, 女, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事模式识别与三维可视化技术研究; E-mail: xnliu@nwu.edu.cn

在法医学鉴定实践中,经常遇到尸体被肢解并高度腐败或重大灾难中只遗留尸骨的情况。从零碎骨骼中获取死者身份信息变得尤为重要。性别识别是骨骼遗骸鉴定的第一步也是鉴定的关键,其将可能的身份匹配数量减少近50%,也为面部重建提供基本参考。

骨盆、颅骨、股骨、胫骨、肱骨、桡骨和下颌骨都可用于性别识别<sup>[1]</sup>。但有研究<sup>[2-3]</sup>表明,骨盆是性别评估中最可靠的指标,其次为颅骨。但骨盆不易保存且易碎,而颅骨由硬组织组成,在大多数情况下可以保存完好且性别二态性特征的稳定性更好。因此,颅骨成为性别识别中最常用的骨骼。

颅骨性别的确定在法医学、人类学、面貌复原及识别未知颅骨等领域都有重要价值,随着计算机技术和统计学研究理论的成熟,借助信息技术完成各项研究成为科研热点。运用三维数字化信息实现颅骨性别判别的研究具有重大的科研及实用价值,通过测量颅骨相关指标进行性别分析已成为法医人类学的研究热点。本研究拟对我国新疆吐鲁番地区维吾尔族人群的三维颅骨数字模型相关指标进行测量和分析,并建立多元回归性别判别函数,为实际应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 样本及颅骨特征点

本研究的颅骨数据采集自新疆吐鲁番地区的维吾尔族志愿者(均已知情同意),由托克逊县人民医院使用西门子64排螺旋CT机采集,扫描间隔为1.5 mm,每人CT图像数量为200~300张。共收集了117个性别明确的成年人的完整颅骨数据,其中男性60个,女性57个,年龄为21~60岁。将CT图像重建得到颅骨三维模型,参考法医学和人类形态学<sup>[4]</sup>定义了颅骨的29个特征点。

利用本课题组自主研发的软件对颅骨三维建模并将其调整在Frankfurt坐标系<sup>[5]</sup>下,然后利用自主研发的特征点标定系统手工标定上述29个颅骨特征点,如图1所示。

1.2 测量指标的定义

对定义的29个特征点,依据《人体测量方法》<sup>[6]</sup>使用西北大学可视化技术研究所自主开发的颅面测量软件进行自动化测量。结合实际需求,本研究定义了16项测量指标,如表1所示。

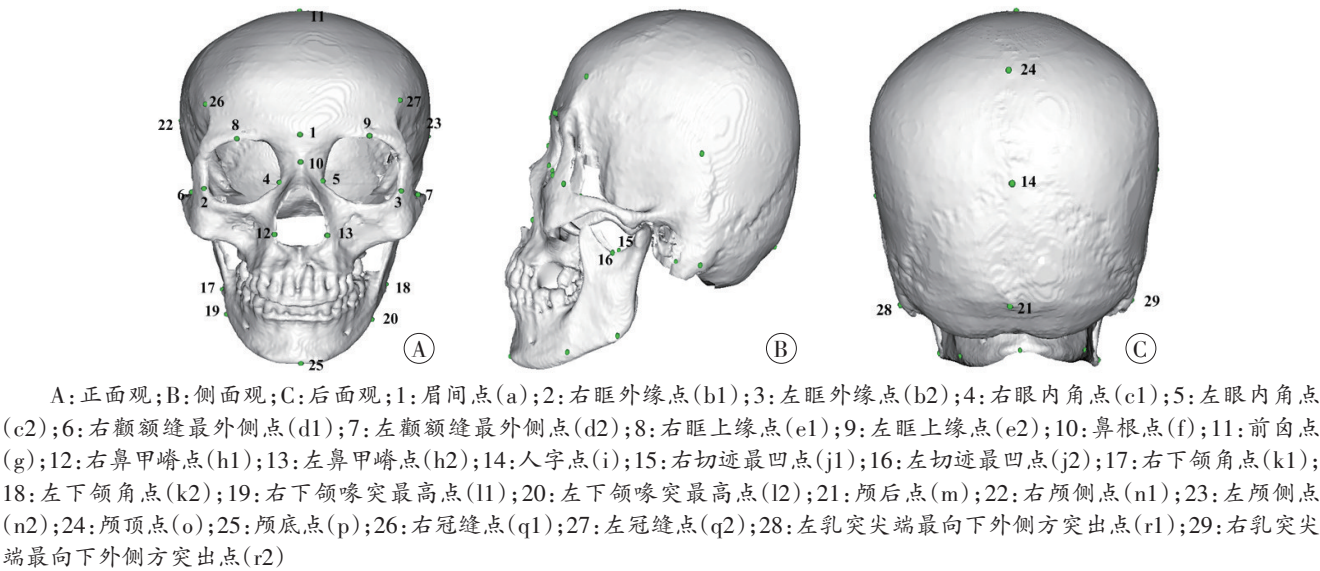


图1 颅骨三维模型及特征点

表1 测量指标及其定义

指标	定义	描述	指标	定义	描述
$x_1$	眼宽	b1和b2间的距离	$x_9$	枕外隆凸度夹角	i、j1连线与i、j2连线的夹角
$x_2$	两内眼角间距	c1和c2间的距离	$x_{10}$	下颌角宽	k1和k2间的距离
$x_3$	上面部宽	d1和d2间的距离	$x_{11}$	下颌体高	k1和l1间的距离
$x_4$	眉弓凸度	b1、e1连线与c1、e1连线的夹角	$x_{12}$	颅骨最大长	a和m间的距离
$x_5$	额骨弦	f和g的弦长	$x_{13}$	颅骨最大宽	n1和n2间的距离
$x_6$	乳突间宽	r1和r2间的距离	$x_{14}$	颅高	o和p间的距离
$x_7$	鼻宽	h1和h2间的距离	$x_{15}$	颅底长	l1和l2间的距离
$x_8$	额骨矢状弧	f和g的弧长	$x_{16}$	颅周长	n1和n2的弧长

1.3 统计学处理

使用SPSS 22.0软件进行统计分析。各指标的测量数据采用 $\bar{x}\pm s$ 表示。使用 $t$ 检验对各测量指标在男女性间的差异进行比较,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

1.4 颅骨性别判别函数的建立及检验

本研究采用Logistic回归方法对颅骨性别进行鉴定,并通过回代检验验证其判定的准确率。

从117个颅骨模型中随机选择78个(男性40个,女性38个)作为训练样本,采用基于最大似然估计的Logistic回归方法建立回归模型,并用其余的39个颅骨(男性20个,女性19个)根据建立的回归模型进行性别预测,完成回代检验。

考虑到实际考古发掘现场或杀人毁尸案件中破损颅骨更为常见,针对破损颅骨建立适合的判别函数具有重要意义。由于破损颅骨数据获取困难,本研究利用上述117个完整颅骨模型分别模拟无额骨、无枕骨、无下颌骨的破损颅骨来建立破损颅骨的性别判别

函数。分别在117个无额骨模型、117个无枕骨模型、117个无下颌骨模型中随机各选择78个(男性40个,女性38个)作为训练样本,采用基于最大似然估计的Logistic回归方法建立回归模型,并用其余的39个颅骨(男性20个,女性19个)根据建立的回归模型进行性别预测,完成回代检验。

用 $P(y=1|x)$ 表示在测量项的约束下,判别为男性的概率; $P(y=0|x)$ 表示在测量项的约束下,判别为女性的概率。其中, $P(y=0|x)=1-P(y=1|x)$ 。

2 结 果

2.1 测量指标的结果

利用颅面测量软件测量三维颅骨模型的各项指标,所有样本的16项测量指标结果见表2。除鼻宽( $x_7$ )和颅骨最大宽( $x_{13}$ )外,其余14个指标在男女性间差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),其中仅枕外隆凸度夹角( $x_9$ )的女性均值大于男性。

表2 男性和女性16项指标的测量结果

( $\bar{x}\pm s$ )					
指标	男性( $n=60$ )	女性( $n=57$ )	指标	男性( $n=60$ )	女性( $n=57$ )
$x_1/\text{mm}$	98.7 $\pm$ 3.1	95.2 $\pm$ 3.5 <sup>1)</sup>	$x_9/^\circ$	167.0 $\pm$ 11.1	177.8 $\pm$ 3.1 <sup>1)</sup>
$x_2/\text{mm}$	24.9 $\pm$ 2.7	23.8 $\pm$ 2.1 <sup>1)</sup>	$x_{10}/\text{mm}$	102.3 $\pm$ 6.4	97.7 $\pm$ 5.8 <sup>1)</sup>
$x_3/\text{mm}$	106.3 $\pm$ 5.1	103.8 $\pm$ 4.6 <sup>1)</sup>	$x_{11}/\text{mm}$	45.7 $\pm$ 3.9	43.6 $\pm$ 3.3 <sup>1)</sup>
$x_4/^\circ$	32.3 $\pm$ 8.9	29.4 $\pm$ 5.6 <sup>1)</sup>	$x_{12}/\text{mm}$	178.1 $\pm$ 7.4	168.6 $\pm$ 5.7 <sup>1)</sup>
$x_5/\text{mm}$	113.5 $\pm$ 4.9	110.1 $\pm$ 5.6 <sup>1)</sup>	$x_{13}/\text{mm}$	138.7 $\pm$ 6.3	136.4 $\pm$ 5.5
$x_6/\text{mm}$	110.9 $\pm$ 5.9	107.9 $\pm$ 4.9 <sup>1)</sup>	$x_{14}/\text{mm}$	13.4 $\pm$ 3.6	12.9 $\pm$ 2.9 <sup>1)</sup>
$x_7/\text{mm}$	26.5 $\pm$ 2.1	25.7 $\pm$ 1.7	$x_{15}/\text{mm}$	9.6 $\pm$ 2.6	9.2 $\pm$ 3.1 <sup>1)</sup>
$x_8/\text{mm}$	29.9 $\pm$ 2.7	29.4 $\pm$ 8.9 <sup>1)</sup>	$x_{16}/\text{mm}$	52.3 $\pm$ 4.4	50.2 $\pm$ 4.1 <sup>1)</sup>

注:与男性相比, $P<0.05$

2.2 颅骨性别判定结果

2.2.1 完整颅骨模型

针对作为训练样本的78个颅骨模型,基于最大似然估计的Logistic回归方法建立以 $x_4$ 、 $x_6$ 、 $x_{12}$ 、 $x_{15}$ 、 $x_{16}$ 为自变量的性别判别函数,如下所示:

$$P(y=1|x)=\{1+\exp[-(-0.081x_4+0.638x_6+0.194x_{12}+0.201x_{15}+0.343x_{16}-107.376)]\}^{-1}, \quad (1)$$

利用式(1)对作为测试样本的39个颅骨模型进行回代检验。其中:20个男性颅骨中有18个被正确分类,判别准确率为90.0%;19个女性颅骨中有18个被正确分类,判别准确率为94.7%。总体判别准确率为92.3%。

2.2.2 无额骨模型

对于无额骨的颅骨可测量 $x_{10}$ 、 $x_{11}$ 、 $x_{16}$ 指标,采用基于最大似然估计的Logistic回归方法建立以 $x_{10}$ 、 $x_{11}$ 、 $x_{16}$ 为自变量的性别判别函数:

$$P(y=1|x)=\{1+\exp[-(0.311x_{10}+0.141x_{11}-0.124x_{16}-$$

$$32.006)]\}^{-1}, \quad (2)$$

利用式(2)对作为测试样本的39个颅骨模型进行回代检验。其中:20个男性颅骨中有17个被正确分类,判别准确率为85.0%;19个女性颅骨中有16个被正确分类,判别准确率为84.2%。

2.2.3 无枕骨模型

对于无枕骨的颅骨可测量 $x_4$ 指标,采用基于最大似然估计的Logistic回归方法建立以 $x_4$ 为自变量的性别判别函数:

$$P(y=1|x)=\{1+\exp[-(-0.374x_4+13.429)]\}^{-1}, \quad (3)$$

利用式(3)对作为测试样本的39个颅骨模型进行回代检验。其中:20个男性颅骨中有16个被正确分类,判别准确率为80.0%;19个女性颅骨中有14个被正确分类,判别准确率为73.7%。

2.2.4 无下颌骨模型

对于无下颌骨的颅骨可测量 $x_5$ 、 $x_9$ 指标,采用基于最大似然估计的Logistic回归方法建立以 $x_5$ 、 $x_9$ 为自



变量的性别判别函数:

$$P(y=1|x)=\frac{1}{1+\exp[-(0.196x_5+0.168x_9-50.320)]}-1, (4)$$

利用式(4)对作为测试样本的39个颅骨模型进行回代检验。其中:20个男性颅骨中有17个被正确分类,判别准确率为85.0%;19个女性颅骨中有15个被正确分类,判别准确率为78.9%。

### 3 讨论

在法医学和人类学领域,颅骨性别判别常用的方法是观察法<sup>[7-8]</sup>、测量法<sup>[9-10]</sup>和统计法<sup>[11]</sup>。观察法依赖于鉴定人对男女性颅骨之间形态特征差异的理解,主观性较强,误差大。使用测量法在对颅骨进行测量时,会对颅骨造成二次破坏且精度不高。随着计算机的应用越来越广泛,研究者开始使用计算机辅助颅骨测量,但由于颅骨结构复杂,精确的测量相当困难,且随着年龄的变化,颅骨的大小也会发生改变。统计法是建立在测量法的基础上,利用统计学方法对各类测量指标进行分析,并转化为数学模型,进而得到判别结果,但准确度还有待进一步提高。随着统计学、计算机技术和CT技术的发展,计算机辅助技术实现颅骨性别判别已成为法医学、人类学以及考古学领域的重要研究内容。

利用医学影像设备采集活体颅骨的相关实验数据,利用颅面测量软件测量和统计各类测量指标,可以提高判别准确率和效率。本研究采用由CT设备获取的颅骨数据,对颅骨三维模型建立了由5个测量指标作为自变量的多元回归性别判别函数,对新疆吐鲁番地区维吾尔族人群成年人完整颅骨进行性别判别。由测量指标结果可知,枕外隆凸度夹角的测量结果为女性均值大于男性,与李加善等<sup>[12]</sup>的研究结果一致。枕外隆凸度夹角是枕外隆凸向两侧的弓形骨嵴间的角度,由于男性枕外隆凸粗大,形成的角度相对较小,女性枕外隆凸细小,所以角度相对较大。鼻宽和颅骨最大宽这两项测量指标结果均值在男女性间差异无统计学意义,和李明等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。同时,本研究结果表明:成年人完整颅骨男性的判别准确率为90.0%,女性的判别准确率为94.7%,总体判别准确率为92.3%,能够为实际工作提供参考;用完整颅骨分别模拟无额骨、无枕骨、无下颌骨的不完整颅骨模型,无额骨颅骨的男、女性判别准确率分别为85.0%、84.2%,无枕骨颅骨的男、女性判别准确率分别为80.0%、73.7%,无下颌骨颅骨的男、女性判别准确率分别为85.0%、78.9%;完整颅骨的性别判别准确

率高于无额骨、无枕骨、无下颌骨的颅骨。

近年来,国内外学者对颅骨性别判别进行了研究。国外SHAH等<sup>[14]</sup>利用Logistic回归方法和判别函数对901名健康的古吉拉特人进行颅骨性别判别,男、女性判别准确率分别为92.0%、80.9%;AMORES-AMPUERO<sup>[15]</sup>对109个西班牙人颅骨样本测量了6项特征指标,并建立判别函数,判别准确率为75.7%;AJANOVIC等<sup>[16]</sup>测量了波斯尼亚人头骨的7个线性直径指标,使用多元逻辑回归建立判别函数,男、女性判别准确率分别为85%、68%。国内李明等<sup>[13]</sup>根据我国西南地区成年人颅骨的16项指标建立了单变量判别函数和多变量判别函数,发现以颅周长和鼻高为指标的多变量判别函数的判别准确率最高,男、女性判别准确率分别为89.2%、90.0%;税午阳等<sup>[17]</sup>对西安地区成年人颅骨进行性别鉴定时,利用计算机辅助方法测量了14项三维颅骨特征指标,采用步进Fisher法建立了包含4项特征指标的多元性别判别函数,男、女性判别准确率分别为87.5%、86.67%。本研究得到的男、女性判别准确率均高于上述报道。刘玉勇<sup>[18]</sup>使用Photoshop软件测量了华北地区142例成年人颅骨正位X线片上的13个特征指标,利用判别分析得到95%的性别判别准确率。任荣荣等<sup>[19]</sup>通过整合可测量和非可测量特征,将非线性降维和非线性分类结合的方法对94例汉族成年人颅骨进行性别判别,准确率达96.36%。上述研究的判别准确率略高于本研究,但是他们都是仅对完整颅骨进行了性别鉴定,没有考虑不完整颅骨的情况,然而实际情况中不完整颅骨更为常见,如考古遗址或刑事案件等。因此,本研究不仅对完整颅骨进行了性别鉴定,还考虑到不完整颅骨性别鉴定的情况,并取得了较好的判别准确率,更加具有实用价值。有研究<sup>[20-21]</sup>表明,不同的人群具有不同的骨骼特征,因此对特定人群进行性别判别分析至关重要。因研究对象种族不同、样本量不同,方法也有差异,颅骨性别判别的准确率也有所不同,但在应用中都有其参考价值。

颅骨样本的规模和性别判别方法的选取直接决定了性别判别结果的准确性。大量颅骨样本模型为性别判别提供了数据基础,但对性别判别方法性能的优化也是难点。本研究采用计算机辅助测量颅骨模型中具有性别差异的指标,通过Logistic回归方法建立性别判别函数,与以往研究相比,判别准确率有所提高,并且考虑了不完整颅骨的情况。同时,使用计算机技术使得操作简单快速、误差小,在实际应用中值得推广。

# 参考文献:

- [1] SANGVICHIE N, BOONKAEW K, CHUNCHARUNEE A, et al. Sex determination in Thai skulls by using craniometry: Multiple logistic regression analysis[J]. *Siriraj Med J*, 2007, 59(5): 216-221.
- [2] ISCAN M Y. Forensic anthropology of sex and body size[J]. *Forensic Sci Int*, 2005, 147(2/3): 107-112.
- [3] ROBINSON M S, BIDMOS M A. The skull and humerus in the determination of sex: Reliability of discriminant function equations[J]. *Forensic Sci Int*, 2009, 186(1/2/3): 86.e1-86.e5.
- [4] 周明全, 耿国华, 李康, 等. 颅面形态信息学[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 93-95.
- [5] 税午阳, 周明全, 武仲科, 等. 数据配准的颅骨面貌复原方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2011, 23(4): 607-614.
- [6] 席焕久, 陈昭. 人体测量方法[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2010: 51-78.
- [7] HRDLICKA A. Anthropometry[M]. Philadelphia: The Wistar Institute of Anatomy and Biology, 1920.
- [8] KROGMAN W M. The human skeleton in forensic medicine[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1962.
- [9] KEEN J A. A study of the differences between male and female skulls[J]. *Am J Phys Anthropol*, 1950, 8(1): 65-79.
- [10] CEBALLOS J L, RENTSCHLER E H. Roentgen diagnosis of sex based on adult skull characteristics; comparison study of cephalometry of male and female skull films (frontal pro-projection) [J]. *Radiology*, 1958, 70(1): 55-61.
- [11] LUO L, WANG M, TIAN Y, et al. Automatic sex determination of skulls based on a statistical shape model[J]. *Comput Math Methods Med*, 2013, 2013: 251628.
- [12] 李加善, 张凤山, 祝宝明, 等. 男女颅骨的观察与测量[J]. *山西大同大学学报(自然科学版)*, 2012, 28(4): 45-46.
- [13] 李明, 范英南, 喻永敏, 等. 西南地区成人面颅骨的性别判定[J]. *中国法医学杂志*, 2012, 27(2): 132-134.
- [14] SHAH T, PATEL M N, NATH S, et al. Determination of sex using cephalo-facial dimensions by discriminant function and logistic regression equations[J]. *Egyptian J Forensic Sci*, 2016, 6(2): 114-119.
- [15] AMORES-AMPUERO A. Sexual dimorphism in base of skull[J]. *Anthropol Anz*, 2017, 74(1): 9-14.
- [16] AJANOVIC Z, SARAC-HADŽIHALILOVIC A, GOJAK R. Determination of sex discriminant function analysis of linear diameters in Bosnian human skulls[C]// *CMBEBIH 2017, Proceedings of the International Conference on Medical and Biological Engineering 2017*, Singapore: Springer, 2017: 88-94.
- [17] 税午阳, 殷荣超, 周明全, 等. 中国汉族人颅骨数字模型的性别判别方法[J]. *中国法医学杂志*, 2013, 28(6): 461-463, 468.
- [18] 刘玉勇. 华北地区汉族成人面颅骨X线片性别判定的研究[J]. *中国司法鉴定*, 2016(1): 26-31.
- [19] 任荣荣, 周明全, 耿国华, 等. 三维颅骨形态量化表示与非线性性别判定[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(1): 19-23.
- [20] RAMAMOORTHY B, PAI M M, PRABHU L V, et al. Assessment of craniometric traits in South Indian dry skulls for sex determination[J]. *J Forensic Leg Med*, 2016, 37: 8-14.
- [21] SNOW C C, HARTMAN S, GILES E, et al. Sex and race determination of crania by calipers and computer: a test of the Giles and Elliot discriminant functions in 52 forensic science cases[J]. *J Forensic Sci*, 1979, 24(2): 448-460.

(收稿日期: 2017-07-28)

(本文编辑: 高东)