

DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2016.0016

现代人头骨断面轮廓的性别鉴定——基于几何形态测量的研究

张亚盟^{1,2}, 魏偏偏^{1,2}, 吴秀杰¹

1. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 人类头骨在大小、粗壮度和形状上具有性别差异。长期以来, 性别鉴定的方法主要是根据头骨的大小和粗壮度, 用肉眼进行粗略观察。受研究方法的限制, 忽略了头骨细微的解剖结构及形状差别。为获取头骨性别差异的更多信息, 探究头骨断面轮廓的性别差异, 本文选用距今 300 年左右墓葬出土的云南现代人成年男性和女性头骨各 30 例作为研究材料, 利用 3D 激光扫描技术及逆向工程软件提取头骨断面的外轮廓信息, 在此基础上, 采用几何形态测量方法对头骨冠状面、矢状面的外轮廓形状的性别差异进行了比较。研究结果显示: 男女头骨在冠状面、正中矢状面顶骨部、正中矢状面枕骨部的形状上性别差异不显著, 而在正中矢状面额骨部的形状上差异显著。本文对于古人类学和体质人类学鉴定人类头骨的性别差异, 以及探讨不同地区、不同时代人群头面部形状的变异具有一定的参考价值。

关键词: 现代人; 头骨形状; 断面; 性别差异; 几何形态测量

中图法分类号: Q983; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2016)02-0172-09

Sex determination of cross-sectional outlines in modern human skulls: A study based on geometric morphometrics

ZHANG Yameng^{1,2}, WEI Pianpian^{1,2}, WU Xiujie¹

1. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: Researchers generally identify a skeleton's sex by looking at size and robustness of the skull, but with this approach it is often difficult to acquire subtle anatomical and shape differences. In order to get more information to identify sex, we use 3D laser scanning and image processing software to extract outline information of 30 male and 30 female modern human skulls unearthed from tombs about 300 years ago in Yunnan Province. Geometric morphometrics

收稿日期: 2014-09-01; 定稿日期: 2014-10-27

基金项目: 中国科学院重点部署项目 (KZZD-EW-03), 国家自然科学基金 (41302016, 41272034), 中国科学院战略先导科技专项 (XDA05130102) 资助

作者简介: 张亚盟, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所硕士研究生, Email: zhangyameng@ivpp.ac.cn

Citation: Zhang YM, Wei PP, Wu XJ. Sex determination of cross-sectional outlines in modern human skulls: A study based on geometric morphometric[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2016, 35(2): 172-180

are used to analyze the sexual dimorphism in the cross-section outlines of these male and female skulls. Results show that male and female skulls have no significant differences in the outlines of coronal and mid-sagittal sections of the parietal and occipital bone, but have significant differences in the mid-sagittal section of the frontal bone. This study establishes a new method of sex determination in physical anthropology and paleoanthropology.

Key words: Modern; Human; Skull; Sex determination; Morphometrics

1 前言

男女头骨具有性别差异，性别鉴定在解剖学、法医鉴定以及体质人类学上都具有重要意义。传统的性别鉴定方法多根据头骨的大小及粗壮度，用肉眼粗略观察后进行判断。一般来讲，男性头骨的尺寸比女性略大和略显粗壮^[1,2]。墓葬出土的人骨材料，通常没有生前记录，一般是根据头骨、骨盆或者下颌骨对其性别进行鉴定。研究发现，根据成人头骨判定性别的准确率为 82-89%^[3]，单独使用下颌骨判定性别的准确率为 85%^[4]。还有一些学者采用头骨测量数值和判别分析公式推测性别^[5-9]；或者采用 X 光射线获得头骨侧面的图像，根据头骨图像的测量数据，获得线性回归方程^[10,11]；也有学者根据颞骨岩部的特征^[12,13]对性别进行推测。

传统的性别鉴定方法虽然简单方便，但是也存在一些缺陷，尤其表现在对古人类头骨的性别鉴定上。古人类研究材料非常罕见且多保存不完整，并且其头骨通常比现代人粗硕，因而从形态上难以准确地判断性别，因此最好可以从破碎的骨块中提取出更多的性别差异信息。传统的形态研究显示，额骨的性别差异较大：女性在额结节的凸起程度上较男性更为明显^[14]，在额鳞部的弧度更加陡直；男性额结节的凸起程度上趋于平缓^[15]，表现为额侧面角和额倾角小于女性且具有显著差异^[16]。额骨的测量性状在不同性别之间也存在显著差异^[17,18]。在时代上，从古老型智人到现代人，眉弓变化是非常明显的，而额骨内部的轮廓则非常稳定^[19-21]。这种头骨局部隆起程度在男女之间的差别实际上反映的是头骨断面轮廓形状的性别差异。然而，由于受研究方法的限制，以往研究无法准确量化提取这种差异的信息，只能粗略进行肉眼观察或角度测量。近年来，几何形态测量及数字图像技术的发展和应^[22-28]使得准确提取与分析人类头骨断面轮廓形状成为可能。为了进一步探究头骨断面在不同性别间的差异，本文采用激光扫描及逆向工程软件提取头骨断面轮廓信息。在此基础上，采用几何形态测量方法对头骨不同部位断面轮廓的性别差异情况进行了分析。

2 材料与方 法

2.1 研究材料

研究头骨性别差异，需要知道其生前的性别。墓葬出土的人骨材料，多数没有生前记录，最好是根据头骨和骨盆对其性别进行鉴定，其准确率可达 98%^[29]。本文选用生活在云

南地区，墓葬出土的距今 300 年左右的已被鉴定（根据颅骨和骨盆）性别的云南现代人成年男女头骨标本各 30 例进行研究，标本保存在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所。

2.2 三维信息采集及头骨外轮廓线选取

使用美国 NextEngine 公司生产的便携式 3D 激光扫描仪 (Model 2020i Desktop) 对 60 例头骨标本分别进行扫描。在 Dell 图像工作站上，三维重建出虚拟的头骨图像。通过调整三维参考坐标，将头骨放置到标准的法兰克福标准平面上，使头骨前面朝向 z 轴，右侧朝向 x 轴，顶部朝向 y 轴。

本文主要分两部分进行了探究，一部分是为了探究冠状面轮廓的性别差异，选择了过左右耳门上点 (po) 且平行于冠状面的轮廓进行研究。第二部分为了探究头骨矢状面轮廓两性之间的差异，选择了过头骨正中矢状面的轮廓，同时由于矢状面轮廓形态较为复杂，所以将其分成额骨、顶骨和枕骨三个部分分别进行研究。

冠状面轮廓线及标志点和半标志点的获取方法见图 1。在逆向工程软件 Rapidform xor3 中，将完整头骨置于法兰克福标准平面，过左右耳门上点 (po) 建立一平面与冠状面平行，然后与头骨相交得到冠状面轮廓线，左右耳门上点 (po) 即为标志点，然后将轮廓线导入 tps 系列软件，通过建立并等分曲线的功能将轮廓线等分，获得 23 个半标志点。

正中矢状面轮廓线及标志点的获取方法见图 2。使用逆向工程软件 Rapidform xor3，将完整头骨置于法兰克福标准平面，建立正中矢状面参考平面并与头骨相交得到正中矢状面轮廓线，在头骨上定义 4 个解剖位点为标志点：鼻根点 (n)，前凶点 (b)，人字点 (l)，枕骨大孔后缘点 (o)，并且由此可以将整个矢状面轮廓分为三部分。然后将三部分轮廓线分别导入 tps 系列软件，通过建立并等分曲线的功能将轮廓线分别等分，分别获得有 18 个、10 个和 28 个半标志点的轮廓线 (图 2)。

2.3 轮廓线的几何形态测量分析

本文使用几何形态测量的方法进行对头骨的冠状面和矢状面研究，这种方法可以对研究对象进行缩放、平移和旋转，除去形状以外的信息，以便于研究标本的形状中所包含的信息。标本的形状信息是以标志点的形式提取的，标本的解剖学位点或者解剖学极值点在几何形态测量中以标志点的形式处理^[30]，同时在研究轮廓时由于缺乏标志点，通过在

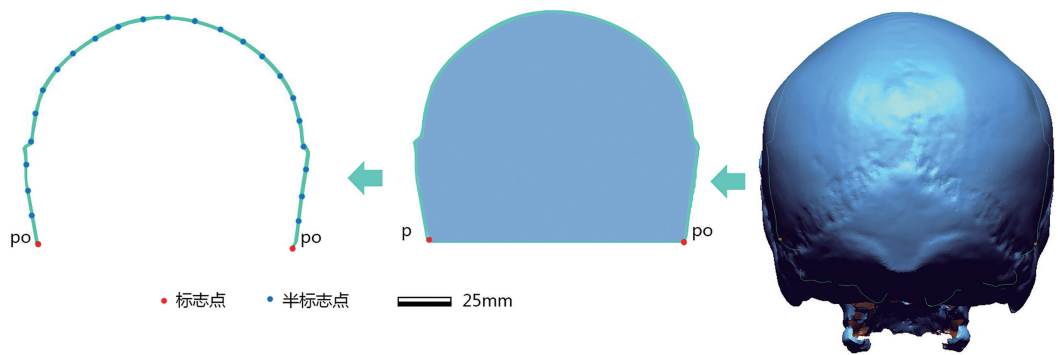


图 1 冠状面轮廓线及标志点和半标志点的获取
Fig.1 Definition of landmarks, semi-landmarks and the coronal contour

轮廓线上增加等分半标志点的方式使得描述更为准确，等分的半标志点与标志点具有类似的同源性质，允许在不同的个体间进行对比^[31]。

标志点和半标志点利用 tps (<http://life.bio.sunysb.edu/morph/>) 系列软件提取。根据头骨不同部位形状的复杂程度，分别使用了不同的半标志点数量：在冠状面轮廓线上使用了 23 个半标志点，在正中矢状面额骨轮廓线上使用了 18 个半标志点，在顶骨轮廓线上使用了 10 个半标志点，在枕骨轮廓线上使用了 28 个半标志点。标志点和半标志点可以将形状信息转化为笛卡尔坐标系中的坐标信息。

利用古生物学统计软件 PAST^[32] (<http://folk.uio.no/ohammer/past/>) 对 60 例标本的轮廓线进行统计和分析。通过 Procrustes 叠印 (GPA) 工具，将 60 例标本叠加在一起并使其形状间差异最小化，此时原本的标本形态信息或者轮廓信息已经转化成了形状变量，然后通过多元统计分析方法对形状变量进行分析和作图^[30]。使用 MorphoJ (<http://www.flywings.com>)

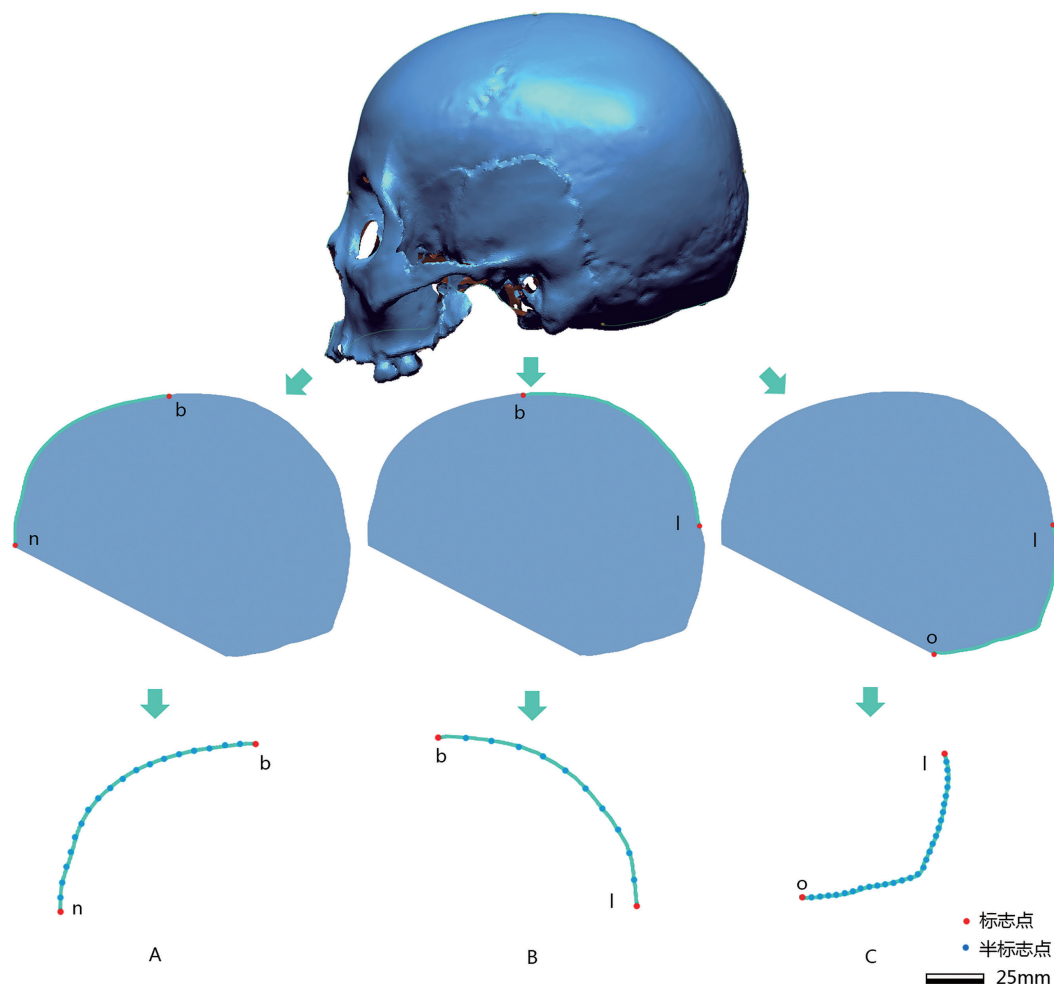


图 2 正中矢状面轮廓线及标志点和半标志点的获取

Fig.2 Illustration of landmarks, semi-landmarks and the mid-sagittal contour

A. 额骨轮廓 Frontal bone contour; B. 顶骨轮廓 Parietal bone contour; C. 枕骨轮廓 Occipital bone contour; n: 鼻根点 Nasion;
b: 前囟点 Bregma; l: 人字点 Lambda; o: 枕骨大孔后缘点 Opisthion

org.uk/morphoJ_page.htm) 软件中的 Procrustes ANOVA 对男女头骨的形状进行方差分析^[33]。

3 结 果

对男女头骨冠状面轮廓, 正中矢状面轮廓的顶骨部、枕骨部和额骨部分别进行几何形态测量分析。

3.1 冠状面轮廓比较

男性和女性的标志点和半标志点变异程度较大, 较为散布, 男女分布范围基本重叠(见图 3)。方差分析结果可知男性和女性不存在显著差异(见表 1), 其中个体的自由度与标志点的数量有关, 为两倍的标志点和半标志点数量(二维)减去 4 个自由度(在 Procrustes 叠印过程中丢失 4 个自由度)。

3.2 顶骨正中矢状面轮廓比较

男性和女性的标志点和半标志点分布较为集中, 说明这一区域在男女变异均较小, 平均形状男性和女性基本重叠(图 4)。方差分析的结果显示男性和女性在形状上没有显著差异(表 1)。

3.3 枕骨正中矢状面轮廓比较

叠印图显示男性和女性整体较为分散, 变异较大, 尤其是在枕外隆凸点附近, 男性较女性更加分散, 个别男性个体具有尤为特殊的形状(图 4)。方差分析的结果表明男性和女性的枕骨正中矢状面轮廓的形状接近但没有显著性差异(表 1)。

3.4 额骨正中矢状面轮廓比较

通过叠印图可以看出, 男性和女性的标本具有一定程度的分离但是也存在部分重叠。而平均形状则可以更加直观地观察到性别间的差异, 男性相较于女性在眉间或者眉弓区域隆起, 而在额鳞部回缩(图 4)。根据方差分析结果可知, 额骨正中矢状面轮廓男性和女性之间具有显著差异(表 1)。

对形状变量的主成分分析结果显示(图 5), 在由 60 例标本所组成的形态空间里, 男性和女性分别在第一主成分的左侧和右侧分布, 具有较为显著的差异, 但是在中间也有一定区域的重叠。PC1 (50.23%) 和 PC2 (40.19%) 解释了共计 90.42% 的变异, 结果较为理想。分布在四个边缘的形变图展示的是 PC1 和 PC2 分别取左右极值时的形状, 其中红色代表膨胀的区域而蓝色代表收缩的区域。从图中可以清晰的看到在 PC1 分数较小时主要为男性个体, 其眉间区域凸出而额鳞回缩, 在 PC1 分数较大时主要为女性个体, 其眉间区域收缩而额鳞向外膨胀, 与我们在叠印图和平均形状中观察到的现象一致。右下角两个蓝色的点代表两个男性个体, 位于女性区域内, 观察其形态, 具有较为隆起的额骨, 额结节发达。

断面轮廓的性别比较结果显示, 在冠状面轮廓、顶骨正中矢状面轮廓、枕骨正中矢状面轮廓这三个部分男女性别差异不显著, 在额骨正中矢状面轮廓性别差异显著。

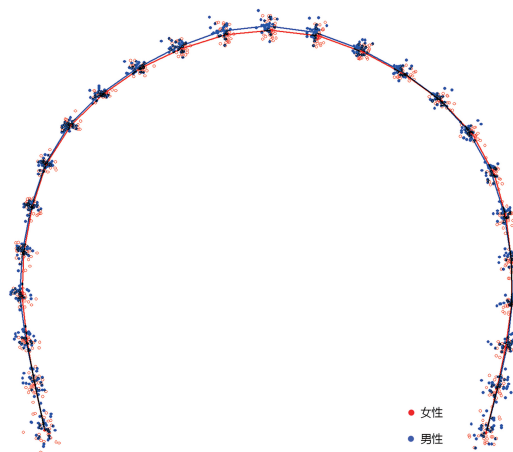


图 3 男性和女性头骨冠状面轮廓线叠印图

Fig.3 Superimposition of male and female coronal outlines

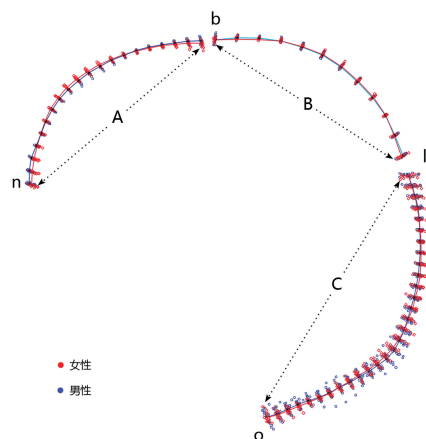


图 4 男性和女性头骨正中矢状面轮廓线叠印图
Fig.4 Superimposition of male and female mid-sagittal outlines

A. 额骨部 Frontal bone contour; B. 顶骨部 Parietal bone contour; C. 枕骨部 Occipital bone contour; b. 前囟点 bregma; l. 人字点 lambda; o. 枕骨大孔后缘点 opithsion

4 讨论

4.1 云南现代人额骨正中矢状面轮廓的性别差异比较

云南现代人额骨正中矢状面轮廓男性和女性间差异较大，这与平时观察到的现象一致。本文在此基础上直观展现了性别差异的具体存在部分，但是仅使用正中矢状面的轮廓线不足以区分男性和女性，还需要提取更多的额骨信息，在今后的工作中可以考虑提取多条轮廓线，或者利用三维几何形态测量的方法来进一步研究额骨的性别差异。

4.2 云南现代人头骨断面轮廓差异不显著的部分

冠状面轮廓性别间差异不显著，在这一轮廓线中，头骨最大宽的位置对其形状影响较大，顶骨正中矢状面轮廓男性和女性的稳定性较好，所有标志点和半标志点均处于较为集中的形状范围内，具有最小的变异，暗示这一区域可能更多的反应遗传信息。

枕骨正中矢状面轮廓变异较大，男性尤为明显，在枕外隆凸点及其上部和下部都存在变异，统计结果接近显著差异。根据以往的研究，男性和女性在枕骨圆枕的变异上是有显著差异的^[34]，这里将枕骨作为一个整体进行分析，会将变异叠加在一起，得到难以解释的现象，而且由于枕外隆凸点附近有枕圆枕的影响，使得结果更加难以预测。因此考虑在今后的工作中可以根据上项线和下项线将枕骨分开进行研究。

4.3 几何形态测量以及其中的统计方法学

标志点在研究轮廓的时候存在一定的缺陷，所以增加了半标志点。半标志点在使用

表 1 男性和女性头骨冠状面轮廓和矢状面轮廓的方差分析结果

Tab.1 Procrustes variance analysis of coronal and sagittal outlines between male and female skulls

	Effect	SS	MS	df	F	p
冠状面轮廓	Individual	0.00084838	0.0000184431	46	0.77	0.8658
	Residual	0.06366661	0.0000238630	2668		
顶骨矢状面轮廓	Individual	0.00060460	0.0000302302	20	0.74	0.7834
	Residual	0.03257686	0.0000407211	800		
枕骨矢状面轮廓	Individual	0.00276373	0.0000493524	56	1.33	0.0540
	Residual	0.08120936	0.0000371838	2184		
额骨矢状面轮廓	Individual	0.00544969	0.0001513804	36	4.46	<.0001
	Residual	0.06596582	0.0000339330	1944		

注：SS: 平方和 Sums of squares ; MS: 均方 Mean sums of squares(MS=SS/df).

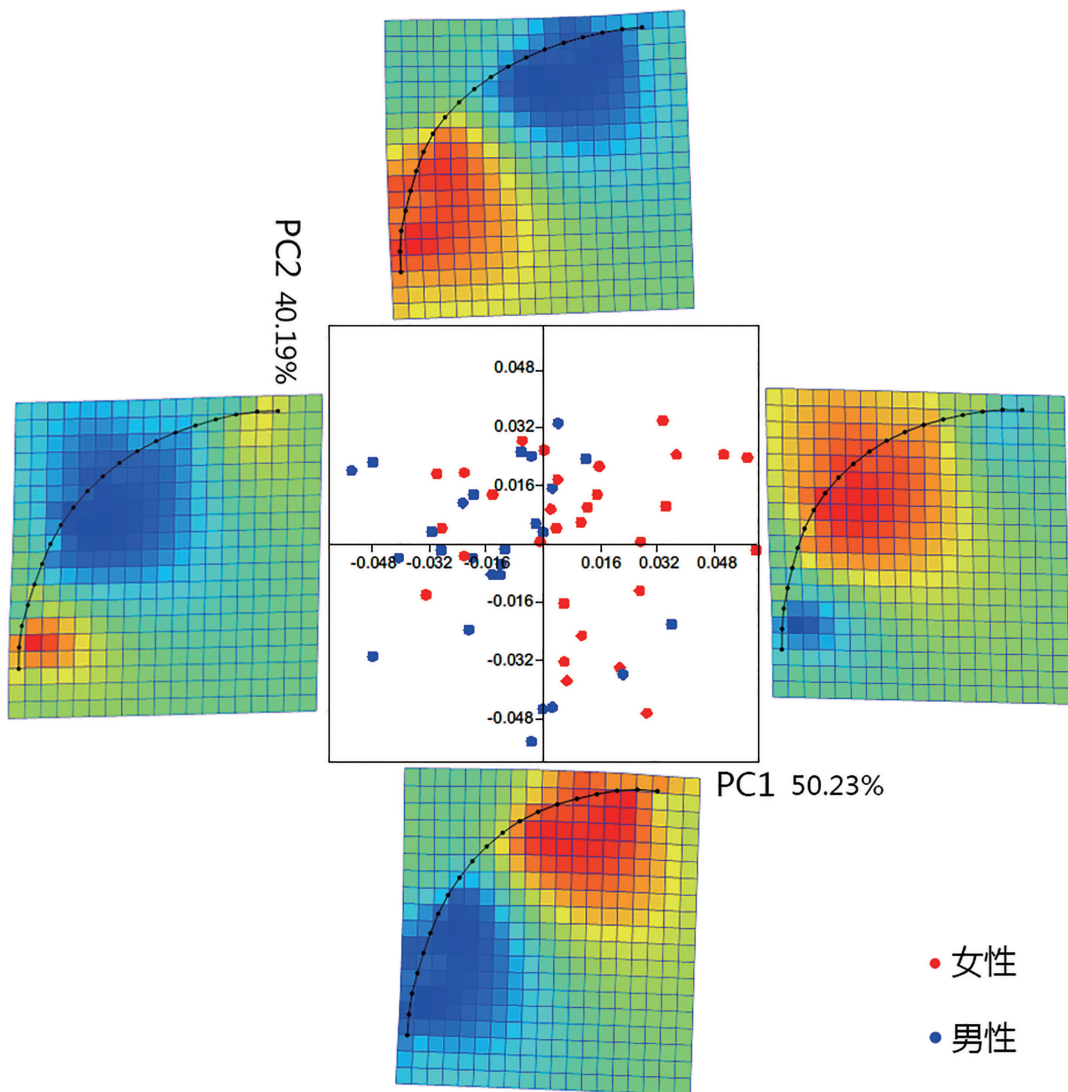


图 5 男性和女性额骨正中矢状面轮廓的主成分分析结果

Fig.5 Principal component analysis of frontal bone contours between male and female skulls

中没有标志点稳定，需要注意。

在几何形态测量方法中没有将坐标点固定在解剖学位置上，因此在进行 Procrustes 叠印时，软件会对轮廓进行一定程度的旋转，使得其中一些标本不在其原始解剖学位置上，所以研究的是单纯的形状上的差异，而不包括位置信息。

在进行统计检验时，样本量是影响结果的重要因素之一，虽然样本越多结果就越真实，但是更多的样本就包含更多的变异和离群值，即形态差异较大的样本，例如在本文中观察到的两例男性标本，具有较为明显的女性特征，以及数个男性个体在枕骨附近较大的变异。事实上从新石器时代就存在着人为导致头骨变形等行为^[35]，所以在选择标本时还要充分考证出土时的文化历史背景，以排除人为或者环境对头骨的影响。因此在考虑增加样本量的同时还需要进行适当的筛选才能得到较好的结果。

4.4 影响颅骨断面轮廓的因素

通过几何形态测量及其多元统计进行研究时，关键问题在于对变异的解释。引起变异的因素有很多，除性别因素之外，还有地区因素，时代因素，环境因素等等。本文在选择标本的时候，控制了其他因素，所关注的主要因素是性别因素。

而在不同地区，不同时代，不同环境的影响之下，随着时代的变迁，为了适应环境的改变，颅骨的轮廓也会产生不同的变化，所以通过研究轮廓的差异来解释不同人群间的基因差异，或者是头骨对不同环境的适应，在今后也是值得研究的问题。

5 小结

现代人头骨额骨正中矢状面形状有性别差异，在进行地区、时代研究过程中，应该注意性别因素对测量结果的影响；顶骨、枕骨正中矢状面形状性别差异特别小或者无性别差异，在探讨人类进化过程中头骨形态特征的变异过程中，可以忽略性别因素的影响。此外，作者在研究过程中也注意到，个体标本在枕骨正中矢状面的轮廓形变较大，呈现出较大的变异。这种变异似乎与性别差异关系不大，可能反映了这个人群的头骨形态变异，其在人群关系及时代变化方面的意义尚需进一步深入研究。

致谢：在进行几何形态分析时，本文作者得到邢松博士的指导和帮助，同时刘武研究员也对本文提出了许多建设性的意见，在此一并表现感谢！

参考文献

- [1] 吴汝康. 人体测量方法 [M]. 科学出版社, 1984
- [2] White TD, Black MT, Folkens PA. Human Osteology[M]. New York: Academic Press, 2011
- [3] Giles E, Elliot O. Sex determination by discriminant function analysis of crania[J]. American Journal of Physical Anthropology, 1963, 21(1): 53-68
- [4] Giles E. Sex determination by discriminant function analysis of the mandible[J]. American Journal of Physical Anthropology, 1964, 22(2): 129-135
- [5] 金东洙, 俞东郁, 皮永浩, 等. 颅骨的性别判定研究 I ——弧弦周长的性别差异和性别判别分析 [J]. 延边医学院学报,

1986(3): 148-151

- [6] 金东洙, 俞东郁, 皮永浩. 颅骨的性别判定研究 IV . 眶部和鼻部 [J]. 延边医学院学报, 1987(04): 246-249
- [7] 金东洙, 俞东郁, 皮永浩. 颅骨的性别判定研究 III . 乳突 [J]. 延边医学院学报, 1987(1): 24-27
- [8] 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(02): 132-134
- [9] 李春彪, 孙尔玉. 根据颅骨判定性别 [J]. 中国法医学杂志, 1991(02): 120-122
- [10] Patil KR, Mody RN. Determination of sex by discriminant function analysis and stature by regression analysis: A lateral cephalometric study[J]. Forensic Science International, 2005, 147(2-3): 175-180
- [11] 高东, 舒永康, 雍寿清, 等. 颌面数字 X 线片性别判定指标的研究 [J]. 中国法医学杂志, 2007(2): 87-90
- [12] Graw M, Wahl J, Ahlbrecht M. Course of the *meatus acusticus internus* as criterion for sex differentiation[J]. Forensic Science International, 2005, 147(2): 113-117
- [13] 张跃明, 潘曦东. 颞骨性别判别分析 [J]. 解剖学杂志, 1998, 21(4): 357-359
- [14] 邵象清. 人体测量手册 [M]. 上海辞书出版社, 1985
- [15] 陆庆五, 张振标, 金观昌. 阴影云纹法在颅骨形态研究中的应用 [J]. 人类学学报, 1993(1): 23-32
- [16] 秦书俭, 李泽山. 成人颅骨的角度测量与性别、年龄的判别 [J]. 锦州医学院学报, 1990(2): 98-101
- [17] 王令红. 香港地区现代人头骨的研究——性别和地区类型的判别分析 [J]. 人类学学报, 1989(3): 222-230
- [18] 王令红, 孙凤喈. 太原地区现代人头骨的研究 [J]. 人类学学报, 1988(3): 206-214
- [19] Bookstein F, Schafer K, Prossinger H, et al. Comparing frontal cranial profiles in archaic and modern *Homo* by morphometric analysis[J]. Anatomical Record, 1999, 257(6): 217-224
- [20] Bookstein FL, Gunz P, Mitteroecker P, et al. Cranial integration in *Homo*: Singular warps analysis of the midsagittal plane in ontogeny and evolution[J]. Journal of Human Evolution, 2003, 44(2): 167-187
- [21] Bruner E. Geometric morphometrics and paleoneurology: Brain shape evolution in the genus *Homo*[J]. Journal of Human Evolution, 2004, 47(5): 279-303
- [22] Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'[J]. Italian Journal of Zoology, 2004, 71(1): 5-16
- [23] James RF, Marcus LF. A revolution in morphometrics[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1993, 8(4): 129-132
- [24] Mitteroecker P, Gunz P. Advances in Geometric Morphometrics[J]. Evolutionary Biology, 2009, 36(2): 235-247
- [25] Bookstein FL. Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology[M]. Cambridge University Press, 1997
- [26] Slice DE. Geometric morphometrics[J]. Annual Review of Anthropology, 2007, 36(1): 261-281
- [27] González-José R, Escapa I, Neves WA, et al. Cladistic analysis of continuous modularized traits provides phylogenetic signals in *Homo* evolution[J]. Nature, 2008, 453(7196): 775-778
- [28] 潘雷, 魏东, 吴秀杰. 现代人颅骨头面部表面积的纬度分布特点及其与温度的关系 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014(8): 1844-1853
- [29] Krogman WM, Iscan MY. The Human Skeleton in Forensic Medicine[M]. Charles C. Thomas Springfield, 1986
- [30] Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD. Geometric morphometrics for biologists: A primer[M]. Academic Press, 2012
- [31] Bookstein FL. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape[J]. Med Image Anal, 1997, 1(3): 225-243
- [32] Hammer Ø, Harper D, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4[Z], 2001
- [33] Klingenberg CP. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics[J]. Molecular Ecology Resources, 2011, 11(2): 353-357
- [34] 张银运. 枕骨圆枕的变异 [J]. 人类学学报, 1994(4): 285-293
- [35] 逢振镛. 史前东夷头骨人工变形拔齿、含球习俗 [J]. 民俗研究, 1993(1): 84-88