

猕猴髌骨性差的几何形态分析

赵晓进^{1,2}, 褚颜魁¹, 赵晓芳¹, 胡李裔¹

(1. 郑州工商学院 商学院, 郑州 451400; 2. 河南师范大学 水产学院, 河南 新乡 453007)

摘要:人类髌骨可以用来鉴定性别,但在非人灵长类中,利用髌骨鉴定性别还未见报道.通过利用几何形态学方法对 25 例太行山猕猴髌骨标本进行研究,选取 32 个标志点/半标志点,通过主成分分析和判别分析,探讨太行山猕猴髌骨的几何形态差异.主成分分析散点图结果显示,雄性个体主要位于 PC1 轴大于 0.03 的部分,而雌性个体全部位于 PC1 轴小于 0.03 的部分,雄性标本的关节面比雌性标本更短、更宽.判别分析结果显示,利用髌骨判定性别的成功率在雌性和雄性猕猴中分别为 100.0% 和 85.7%,证实了利用髌骨对太行山猕猴进行性别判定的可行性.

关键词:猕猴;髌骨;性别二态性;几何形态测量法

中图分类号:Q954

文献标志码:A

猕猴与人类同属灵长目,不仅在遗传上与人类有很高的同源性,而且在形态结构、生理功能以及代谢等方面与人类有许多相似之处^[1-2].髌骨是人类体内最大的籽骨,已有多项研究证实,人类髌骨可用于鉴定性别^[3-4].在猕猴体内,髌骨也是最大的籽骨,位于股四头肌肌腱内.与人类不同的是,猕猴的髌骨轮廓呈卵圆形,背面近侧四分之三为关节面^[5].至今为止,能否用猕猴髌骨进行性别判定尚未见报道.

传统形态测量法通常选取距离、指数、角度等变量进行分析,无法完全反映研究对象的形状信息.近年来发展迅速的几何形态学方法^[6-7],则有效解决了传统形态测量法的缺陷,即能够准确反映解剖学特征的二维或三维标志点和半标志点,从而分析骨骼标本的形状和大小差异^[8].本研究运用几何形态学中的标志点法,对猕猴的髌骨关节面形状差异进行了分析,以探讨髌骨关节面作为单一指标进行猕猴性别鉴定的可行性及有效性,以期为非人灵长类髌骨形态功能研究提供基础资料.

1 材料与方法

1.1 材料

以成年太行山猕猴左侧髌骨标本为对象,这些标本收集于 1989 年至 2017 年间,大部分为室内饲养个体,因衰老等原因死亡所获,部分标本捡拾于河南太行山猕猴国家级自然保护区所辖范围内.根据采集记录和牙齿萌发情况,确定所获标本的性别和年龄.本研究共包括保存完整的成年猕猴左侧髌骨标本 25 例(雌 17 例、雄 8 例).所有标本现保存于河南师范大学生物标本馆.

1.2 样本照片拍摄

使用 NIKON D7100 数码相机对猕猴左侧髌骨的背侧面进行拍摄.拍摄时,固定标本使其拍摄面保持水平,相机固定于三脚架上并保证镜头与标本的拍摄面完全平行,相机镜头与标本拍摄面间的距离为 50 cm.

1.3 标志点/半标志点的提取

标志点需要具备明确的解剖特征^[9],而且在各个样本间还需具有同源性,保证能够在不同样本上准确标记.标志点通常分为 3 种类型,即“布氏 3 类标点”:(1)解剖学结构的连接点,如昆虫翅脉的交点等;(2)解剖学

收稿日期:2020-02-22;修回日期:2020-06-28.

基金项目:国家自然科学基金(31172056);河南省线下一流课程(豫教(2020)13156 号).

作者简介(通信作者):赵晓进(1957—),男,山东聊城人,河南师范大学教授,博士生导师,研究方向为生物统计学,
E-mail:zxj_6119@163.com.

结构的顶点,如翅的端点等;(3)解剖学结构的极值点,如鼻骨最宽处、最窄处等^[10]。

由于髌骨没有明显的解剖学连接点,可供选择的标志点不多,所以通过引入半标志点以增加信息量.半标志点是在样本轮廓线上均匀分布的多个位点,能够较准确地反映标本的轮廓,在统计学上具有标志点的功能。

本文用 tpsDig 软件对图片进行打点标记,参照 BOOKSTEIN 对标志点的定义^[10],选取了 2 个标志点(图 1),分别代表髌骨最长的上、下两个端点.另外对髌骨背侧关节面周长进行等分处理,得到 30 个半标志点(图 1),之后运用 tpsSmall 软件对所选取的标志点/半标志点进行最小平方和法回归分析,得到的回归系数为 0.999 999,接近 1,说明选取的标志点/半标志点是有效的。

1.4 几何形态学分析

在进行几何形态分析时,首先要通过广义普鲁克最小平方法(GPA)对坐标点数据进行缩放、旋转、平移,使各样本的标志点/半标志点位置趋于一致,去除位置、尺寸、方向等非形状因素的影响,这个过程称为叠印^[10].之后运用 MorphoJ 软件对叠印后的形状数据进行主成分分析(PCA)和判别分析^[11-13].判别函数的性能和稳定性采用直接回代检验和交叉验证的方法进行检验^[13]。



1, 2为标志点, 其余为半标志点, No:1502, 雌性, 左侧.

图1 髌骨背侧面标志点

Fig.1 Landmark configurations on the dorsal patella

2 结果

2.1 误差控制

对所有标志点/半标志点进行重复取点,用 SPSS 分析两次得到的质心值(Centroid size)差异,差异不显著($P=0.41>0.05$),说明人为测量误差不会对整体统计结果产生影响。

2.2 主成分分析

对 32 个标志点/半标志点进行主成分分析,得到的前 7 个主成分可解释超过 90%的髌骨关节面形状变异(表 1).PC1 和 PC2 共解释了 56.8%的总形状变异,比例虽然不高,但是对前 2 个主成分作图,发现 PC1 可以较好地地区分雌性和雄性个体.在 PC1 轴上,雌性全部小于 0.03,雄性大部分标本大于 0.03(图 2).网格轮廓图能够直观地反映 PC1 和 PC2 的形状变化情况,圆点代表所有标本的平均形状,由圆点发出的线段端点代表位于 PC 轴极端值位置的标本形状,线段的长度和方向分别代表形状变化的大小和方向.从网格轮廓图圆点及线段端点的位置可以看出,位于 PC1 正值范围的标本关节面长度小于平均值,而宽度大于平均值;位于 PC1 负值范围的标本的关节面长度大于平均值,而宽度小于平均值.各标本在 PC2 纵轴上的形状变化趋势与 PC1 轴类似.由于雄性标本主要位于 PC1 的正值部分,而雌性标本主要位于 PC1 的负值部分,结合网格轮廓图可知,雄性标本的关节面比雌性标本更短、更宽。

2.3 判别分析

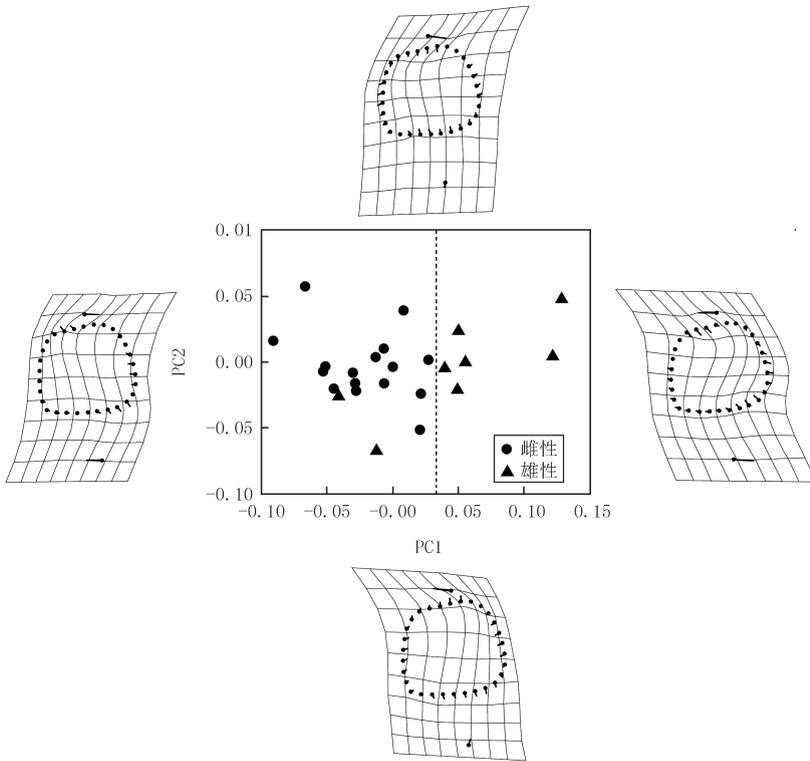
利用 MorphoJ 软件对 25 例髌骨标本进行判别分析,结果见表 2.直接代入判别函数,结果显示 17 例雌性标本全部判别正确(100.0%);雄性标本 8 例,有 1 例判错,其性别正确判别率是 85.7%.总的性别正确判别率是 96.0%.交叉验证结果显示 25 例标本中有 18 例被正确分类,7 例被错判,总的判别成功率为 72.0%.其

中,雌性被正确分类的比例(76.5%)略高于雄性(62.5%)。因此,运用几何形态学方法对猕猴髌骨背侧关节面进行性别判别时,雌性中的判别效果较好,雄性偏低。

表 1 主成分的特征值、解释总体变异性及其累计变异性

Tab. 1 Eigenvalues and percentages of variance and cumulative variance explained by first five principal components

主成分	特征值	占总体变异比例/%	累计变异比例/%
PC1	0.002 899	40.20	40.20
PC2	0.001 202	16.67	56.87
PC3	0.000 746	10.35	67.21
PC4	0.000 676	9.38	76.59
PC5	0.000 435	6.03	82.62



散点图显示标本在PC1和PC2上的分布,网格轮廓图显示各PC极端状态的形状。

图2 髌骨PCA结果

Fig. 2 Principal component analysis of the patella

表 2 髌骨性别判别分析

Tab. 2 Classification results of the patella

项目	分类	判别分类						正确率/%
		雌性个数	雄性个数	合计	雌性比例/%	雄性/%	合计/%	
判别函数结果	雌性	17	0	17	100.0	0.00	100.0	96.0
	雄性	1	7	8	14.3	85.7	100.0	
交叉验证结果	雌性	13	4	17	76.5	23.5	100.0	72.0
	雄性	3	5	8	37.5	62.5	100.0	

3 讨论

有关灵长类髌骨性差的研究资料较少,已有研究主要集中在人类的髌骨上.通过几何形态学方法对标本

的整体形状进行分析,可以找出传统形态学方法较难发现的形状差异,而且能够以图形方式直观地展现差异^[14].

3.1 髌骨形状的几何形态差异

PCA 结果显示,仅使用髌骨背侧面 32 个标志点/半标志点中提取出的前 2 个主成分(图 2)就能够将性别区分开.雄性个体主要位于 PC1 轴大于 0.03 的部分,而雌性个体全部位于 PC1 轴小于 0.03 的部分.结合网格轮廓图可知,雄性标本的关节面比雌性标本更短、更宽.

最小平方和法回归系数接近 1,说明选取的标志点是有效的.前 4 个主成分累积比例为 76.59%,即数据相关性不好,说明形状差异不是由某一个标志点的差异造成的,而是由标本不同部位的一系列标志点的差异决定的^[15].从图 2 中的 PC1,PC2 的网格轮廓图的变化情况也能看出,差异分布于关节面的大部分区域,说明形状差异是整体性的.

判别分析结果显示,利用髌骨判定性别的成功率在雌性和雄性猕猴中分别为 100.0%和 85.7%,判别效果较好.PECKMANN 等^[6]对西班牙人髌骨进行交叉验证,发现在男性中正确判别率为 81.8%,在女性中为 88%,男性的正确率低于女性.本研究中,交叉验证判别成功率相对较低(雄性 62.5%,雌性 76.5%),同样表现为雄性正确判别率低于雌性.MEINDL 等^[16]提出雄性骨骼尺寸变化范围更广,造成雌性和雄性的部分形状特征重合,可能会使得一些个体较小的雄性被误判成雌性.这可能是交叉验证中雄性猕猴判别成功率较雌性更低的原因.同时,提示在以后选取研究对象时,应当把雄性形状变化范围更广这一特点考虑在内.

3.2 影响髌骨形状的因素

在生物发育过程中,选择压力可能会造成生物体结构在不同性别中朝不同方向发育,即两性分化现象^[17].PECKMANN 等^[6]提出由于髌骨是髌股关节的组成部分,其大小和形状取决于股骨的尺寸和股骨产生的压力,股骨较大的个体拥有较大的髌骨.多项基于人类髌骨的研究也发现,男性的股骨尺寸通常大于女性,测量得到的男性髌骨尺寸也大于女性^[3-4].MEINDL 等^[16]提出雄性受到的运动压力较大,也会使其形状变异.除了选择压力以外,基因、年龄等因素也会影响髌骨的形状.VANNI^[18]提出髌骨的形状是受基因控制并且可遗传的.ALY 等^[7]证明髌骨的形态结构与年龄和性别均有关系.

本研究不仅证明了在非人灵长类中利用髌骨进行性别鉴定的可行性,也是首次将几何形态学方法用于髌骨性别鉴定的研究.由于猕猴骨骼标本的获取存在一定困难,而髌骨体积小且易丢失,以上原因使得可供本文研究的标本数目较少,只能进行初步探讨,还需继续补充标本做深入研究.

参 考 文 献

- [1] 宋朝枢,瞿文元.太行山猕猴自然保护区科学考察集[M].北京:中国林业出版社,1996.
- [2] 陈元霖,曾中兴,白寿昌.猕猴[M].北京:科学出版社,1985.
- [3] INTRONA F, DIVELLA G, CAMPOBASSO C P. Sex determination by discriminant analysis of patella measurements[J]. *Forensic Science International*, 1998, 95(1): 39-45.
- [4] KEMKES-GROTTENTHALER A. Sex determination by discriminant analysis: an evaluation of the reliability of patella measurements [J]. *Forensic Science International*, 2005, 147(2-3): 129-133.
- [5] 叶智章,彭燕章,张耀平.猕猴解剖[M].北京:科学出版社,1985.
- [6] PECKMANN T R, MEEK S, DILKIEN, et al. Determination of sex from the patella in a contemporary Spanish population[J]. *Journal of Forensic & Legal Medicine*, 2016, 44: 84-91.
- [7] ALY S M, SHRESTHA B, HONG D J, et al. Identification of age and sex based on knee radiography[J]. *Forensic Science International*, 2016, 267: 231.e1-e7.
- [8] MITTEROECKER P, GUNZ P. Advances in geometric morphometrics[J]. *Evolutionary Biology*, 2009, 36(2): 235-247.
- [9] 葛德燕,夏霖,吕雪霏,等.几何形态学方法及其在动物发育与系统进化研究中的应用[J]. *动物分类学报*, 2012, 37(2): 296-304.
- [10] GE D Y, XIA L, LYU X F, et al. Methods in geometric morphometrics and their applications in ontogenetic and evolutionary biology of animals[J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2012, 37(2): 296-304.
- [11] BOOKSTEIN F L. Morphometric tools for landmark data: Geometry and Biology[M]. New York: Cambridge University Press, 1991.
- [12] 范瑞兆,邱坤,路晓崇,等.重庆烟区烤烟生态环境的主成分分析[J]. *河南农业大学学报*, 2019, 53(2): 180-186.
- [13] FAN R Z, QIU K, LU X C, et al. Principal component analysis of ecological environment for flue cured-tobacco in Chongqing tobacco growing area[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2019, 53(2): 180-186.

- [12] 郝守宁,董飞.尼洋河水质沿程变化特征多元统计分析[J].灌溉排水学报,2019,38(12):109-114.
HAO S N,DONG F.Changing Characteristics of the Water Quality along the Niyang River Based on Multivariate Analysis Method[J].
Journal of Irrigation and Drainage,2019,38(12):109-114.
- [13] 张红坡,张海锋.SPSS 统计分析实用宝典[M].北京:清华大学出版社,2012.
- [14] DAYAL M R,BIDMOS M A.Discriminating sex in South African blacks using patella dimensions[J].Journal of Forensic Sciences,2005,
50(6):1294-1297.
- [15] CANDELAS G N,RASCON P J,CHAMERO B,et al.Geometric morphometrics reveals restrictions on the shape of the female os coxae
[J].Journal of Anatomy,2017,230(1):66-74.
- [16] MEINDL R S,LOVEJOY C O,MENSFORTH R P,et al.Accuracy and direction of error in the sexing of the skeleton:implications for
paleodemography[J].American Journal of Physical Anthropology,1985,68(1):79-85.
- [17] SCHOLTZ Y,STEYN M,PRETORIUS E.A geometric morphometric study into the sexual dimorphism of the human scapula[J].Homo
Internationale Zeitschrift Für Die Vergleichende Forschung Am Menschen,2010,61(4):253-270.
- [18] VANNI M.Die normale Anatomie der Kniescheibe im hohen Lebensalter[J].Z Orthop Unfall,1986,124(2):201-204.

Geometric analysis of patella in *Macaca mulatta* from Taihang mountains

Zhao Xiaojin^{1,2}, Chu Yankui¹, Zhao Xiaofang¹, Hu Liyi¹

(1. School of Economics and Management, Zhengzhou Technology and Business University,
Zhengzhou 451400, China; 2. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Human patella could be used to identify gender, while in non-human primates, using patella to identify gender has not been reported. In this study, the patella shapes of 25 adult *Macaca mulatta* from Taihang mountains were analysed using geometric morphometrics, and 32 landmarks/semi-landmarks were selected to investigate the geometric differences of patella by principal component analysis and discriminant analysis. The scatter plot of principal component analysis showed that the males were mainly located in PC1 axis greater than 0.03, while the females were all located in PC1 axis less than 0.03. The articular surface of males was shorter and wider than that of females. The results of discriminant analysis showed that by using the patella shape, 100.0% of females and 85.7% of males could be correctly identified. This study demonstrates the feasibility of using patella to determine the gender of *Macaca mulatta* from Taihang mountains.

Keywords: *Macaca mulatta*; patella; sexual dimorphism; geometric morphometrics

[责任编辑 刘洋 杨浦]