

太行山猕猴掌骨性差的逻辑回归分析

胡凤霞^a,胡海洋^b,田华香^a,赵哲^b,苏瑞平^a,赵晓进^a

(河南师范大学 a.水产学院; b.生命科学学院,河南新乡 453007)

摘要:对猕猴掌骨变量的性差进行逻辑回归分析,用 ROC 分析来比较掌骨变量、左右侧掌骨和 5 根掌骨的性差大小.成年掌骨标本 44 例(14 雄,30 雌).数据分析采用 SPSS20.0 软件.选择掌骨的 7 个变量.采用逐步逻辑回归分析选择最佳变量.结果表明:掌骨长度是最好的性差指示变量,然后是掌骨头和掌骨底变量,最小的是掌骨骨干宽和高.总体性别正确判别率是 71.4%~100.0%.ROC 分析显示左右侧掌骨性差差异很小,ROC 曲线下面积(AUC)分别是 0.969 和 0.978.逻辑回归结果是 MC2、MC4 和 MC5 判别率较高(90.0%~94.9%);MC1 和 MC3 判别率较低(85.8%~87.5%).结果提示:猕猴掌骨性差显著.掌骨性差模式可能与人类不同.掌骨变量的性差特征反映了遗传与后天行为因素的交互作用.

关键词:猕猴;掌骨;性差;逻辑回归;ROC 分析

中图分类号:Q954.61

文献标志码:A

动物学家、人类学家和考古学家对骨骼遗骸进行研究时,首先要对遗骸进行性别确认^[1].非人灵长类像人类一样,根据一些不完整的骨骼遗迹来确认他们的性别仍然是考古学家和古生物学家十分关注的课题^[2].

一些资料报道太行山猕猴骨骼可以用来进行性别鉴定,包括颅骨^[3]、髌骨^[4]、肱骨^[5]、掌骨和跖骨^[6-7].然而,目前尚未见到用逻辑回归和 ROC 分析对掌骨性差进行研究.本文用猕猴掌骨变量建立逻辑回归模型,得到性别判别率;用 ROC 分析来比较掌骨不同变量、左右侧掌骨和 5 根掌骨的性差大小;与人类掌骨性差和其他研究方法进行比较,探讨他们的差异和分析产生的原因.

1 材料和方法

骨骼标本来河南省太行山猕猴自然保护区.标本的性别是已知的,年龄根据牙齿萌发情况确认.猕猴掌骨标本要求健康无病、骨骼发育正常.每根掌骨选取 7 个变量用游标卡尺测量,精确到 0.01 mm.变量选择依据 Khanpetch 等资料^[2,6].掌骨的缩写字母是 MC,根据它们从内到外的排序依次标识为 MC1、MC2、MC3、MC4 和 MC5.掌骨 7 个变量字母标识分别是掌骨长(LG)、掌骨头宽(HW)、掌骨头高(HH)、掌骨中间宽(MW)、掌骨中间高(MH)、掌骨底宽(BW)和掌骨底高(BH).如果在掌骨缩写字母前添加字母“L”和“R”,分别表示掌骨的左、右侧别.例如:缩写 RMC3HW,表示右侧第三掌骨的掌骨头宽.

判别分析采用 SPSS 20.0 软件建立逻辑回归模型.本文选择了掌骨的 7 个变量,根据逐步逻辑回归规则选取部分变量进入逻辑回归模型,实际上只有少数满足条件的变量进入模型;采用 ROC 分析来比较不同变量、不同侧别和不同掌骨的性差大小.ROC 分析需要采用逻辑回归模型的得分值.

2 结果

左右侧 10 根掌骨得到 10 个逻辑回归模型,每根掌骨的 7 个变量通过 SPSS 程序的自变量的筛选,选择出的最好性别识别变量是 LG.性别正确判别率范围是 77.8%~94.9%.

收稿日期:2014-10-01

基金项目:河南省基础与前沿技术研究计划项目(132300410136)

作者简介:胡凤霞(1989—),女,河南周口人,河南师范大学硕士研究生,主要从事动物学和水产养殖学研究.

通信作者:赵晓进,河南师范大学教授,E-mail:zxj_6119@163.com.

LMC1、LMC5、RMC1 和 RMC3 通过逐步逻辑回归只选择出 LG 一个变量; LMC2、LMC3、LMC4、RMC4 和 RMC5 除了选择 LG 以外,还分别选择了 HH, HW, MW, MW, 需要指出 LMC3 和 LMC4 在逐步逻辑回归中,首先选择进入模型的变量并不是 LG. RMC2 选择了 3 个变量进入模型,分别是 LG、HH 以及 BH. 除了 LG 外其他变量的出现频率为 MW(3/7)、HH(2/7)、HW(1/7)和 BH(1/7). 除了 RMC4 外,其他回归模型都显示出组合变量比单一变量具有更高的判别率(71.4%~100.0%)(表 1).

表 1 掌骨逐步逻辑回归分析

Bone	Step	Variable	B	SE	Wald	Sig.	Exp/(B)	Accuracy/%	
LMC1	1	LG	-4.000	1.463	7.478	0.006	0.018	92.9	
		Constant	90.185	32.651	7.629	0.006	1.47E+39		
LMC2	1	LG	-1.124	0.343	10.757	0.001	0.325	77.8	
		Constant	43.885	13.273	10.932	0.001	1.15E+19		
	2	LG	-0.944	0.361	6.829	0.009	0.389	88.4	
		HH	-3.968	2.079	3.643	0.056	0.019		
		Constant	63.542	20.405	9.697	0.002	3.94E+27		
LMC3	1	HW	-6.593	2.009	10.768	0.001	0.001	84.1	
		Constant	44.100	13.251	11.075	0.001	1.42E+19		
	2	HW	-1.007	0.482	4.376	0.036	0.365	88.6	
		LG	-5.373	2.364	5.164	0.023	0.005		
		Constant	73.744	25.198	8.565	0.003	1.06E+32		
LMC4	1	MW	-9.344	2.703	11.95	0.001	0.000	86.7	
		Constant	39.252	11.192	12.299	0.000	1.11E+17		
	2	LG	-0.958	0.399	5.775	0.016	0.384	91.1	
MW		-7.871	2.985	6.951	0.008	0.000			
		Constant	67.906	20.749	10.711	0.001	3.10E+29		
LMC5	1	LG	-3.367	1.647	4.177	0.041	0.035	89.7	
		Constant	118.431	57.758	4.204	0.040	2.72E+51		
RMC1	1	LG	-3.556	1.301	7.473	0.006	0.029	90.5	
		Constant	79.826	29.019	7.567	0.006	4.65E+34		
RMC2	1	LG	-1.346	0.411	10.743	0.001	0.260	88.4	
		Constant	52.368	15.885	10.868	0.001	5.54E+22		
	2	LG	-1.111	0.452	6.046	0.014	0.329	93.0	
		HH	-6.707	3.145	4.549	0.033	0.001		
			Constant	88.491	31.766	7.76	0.005	2.70E+38	
	3	LG	-1.198	0.559	4.6	0.032	3.02E-01	95.3	
HH		-14.027	7.872	3.176	0.075	0.00E+00			
		BH	-5.462	3.259	2.808	0.094	4.00E-03		
		Constant	186.778	92.099	4.113	0.043	1.31E+81		
RMC3	1	LG	-1.271	0.381	11.128	0.001	0.281	86.4	
		Constant	48.26	14.298	11.392	0.001	9.10E+20		
RMC4	1	LG	-1.608	0.467	11.828	0.001	0.200	91.1	
		Constant	59.012	17.007	12.04	0.001	4.25E+25		
	2	LG	-1.522	0.541	7.905	0.005	0.218	88.9	
MW		-5.412	2.557	4.479	0.034	0.004			
		Constant	78.266	24.334	10.344	0.001	9.78E+33		
RMC5	1	LG	-4.497	2.355	3.647	0.056	0.011	94.9	
		Constant	158.66	82.973	3.656	0.056	8.04E+068		
	2	LG	-38.673	3 807.302	0.000	0.992	0.000	100.0	
		MW	-109.501	13 330.855	0.000	0.993	0.000		
		Constant	1 760.415	167 434.626	0.000	0.992			

RMC 的判别率大于 LMC, 分别是 92.22% 和 87.76%。图 1 显示了 5 根掌骨的 ROC 分析侧别比较, 发现两侧之间的差异很小, ROC 曲线下的面积值(AUC)在 0.944 和 0.995 之间. 右侧 AUC 均值 0.978, 左侧 AUC 均值 0.969. 不同性别的性别判别率明显不同. 雌性的性别判别率高于雄性(10/10, 表 2). 结果提示雌性掌骨被错判为雌性的概率可能会大一些. 逻辑回归分析结果显示 LMC5 判别率最高(91.1%), 其次是

LMC4(89.7%), LMC1 判别率最低(81.0%); 右侧是 RMC5 判别率最高(100.0%), 其次是 RMC2(95.3%), RMC3 判别率最低(86.4%); ROC 分析结果显示左侧是 LMC5, LMC4 和 LMC3 的 AUC 较高(0.979~0.980), LMC1 和 LMC2 的 AUC 较低(0.944~0.963); 右侧是 RMC5, RMC4 和 RMC2 的 AUC 较高(0.989~1.000), RMC1 和 RMC3 的 AUC 较低(0.952~0.959). 结果提示左右两侧 5 根掌骨的性差大小可能排序不同, 不同统计处理的方法结果可能不同. 总体规律是 MC5 和 MC4 性差较大, MC1 性差较小.

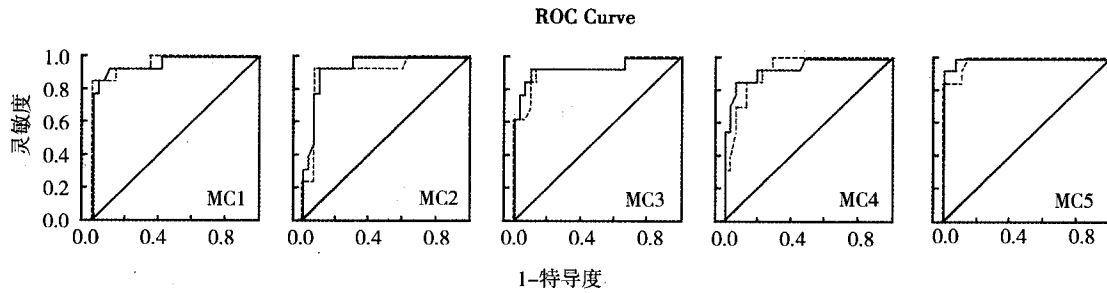


图1 两侧5根掌骨ROC分析(虚线代表左侧,实线代表右侧)

表 2 两侧掌骨逐步逻辑回归分析的性别判别率

	MC1			MC2			MC3			MC4			MC5		
	M	F	T	M	F	T	M	F	T	M	F	T	M	F	T
Left	84.6	96.6	81.0	84.6	90.0	88.4	78.6	93.3	88.6	85.7	93.5	91.1	83.3	92.6	89.7
Right	76.9	96.6	90.5	92.3	96.7	95.3	71.4	93.3	86.4	85.7	90.3	88.9	100.0	100.0	100.0

逻辑回归因变量临界值为 0.5, 左侧掌骨平均正确判别率为 87.8%, 右侧为 92.2%. 雄性掌骨平均正确判别率为 84.3%, 雌性为 94.3%. M=雄性, F=雌性, T=雄性+雌性

3 讨论

许多资料显示用非人灵长类骨骼系统的不同部位可以鉴定性别^[3-7]. 这里选择掌骨主要是由于容易保存并测量简便, 5 根掌骨之间形态特征明显, 彼此容易区分. 本结果研究表明: 太行山猕猴掌骨变量性差显著, 用掌骨变量建立逻辑回归模型可以有效地识别个体的性别, 具有较高的判别率. Tague 等^[8]报道了 17 种非人灵长类的掌骨性差. McFadden 等^[9]报道了大猩猩和黑猩猩掌骨长度比值存在性差. 猕猴掌骨的 7 个变量中, 掌骨长度是识别个体性的最佳变量, 然后是掌骨骨干宽, 其次是掌骨头和底部的变量.

Scheuer 等^[1]对现代英国人掌骨上的不同变量的性差大小进行研究, 结果显示掌骨 MW 的性差最大, 其次是 BW, HW, HH 和 BH, LG 的性差最小. 其他一些研究也证实了这一结果, 总体规律是掌骨粗壮度性差较大^[2]. 很明显本研究结果与以前其他资料报道的结果有所不同. 推测主要原因如下, 1) LG 主要受遗传因素的影响, 生长周期较短, 最近一些灵长类研究结果证明掌骨 LG 除了受基因控制以外, 还对出生前胚胎环境中的性激素水平敏感. 如果胎儿出生前子宫内环境中激素水平异常, 就会导致掌骨 LG 发育异常^[9]. 掌骨骨干粗壮度变量主要受出生后环境因素的影响, 生长周期较长, 终身发生变化, 而且很容易受到各个年龄阶段、行为习惯(如右利手、棒球运动员)和机械刺激等因素的影响. 所以本研究结果说明人类掌骨变量性差主要受到出生后机械刺激的影响, 猕猴掌骨变量性差主要受到遗传因素的影响. 2) 骨骼的生长发育是一个非常复杂的由激素控制的生物学现象, 在不同的生物种群之间具有不同的遗传概貌和进化水平. 即使在人类的不同种群之间不同的掌骨变量性差大小是不同的^[10]. 所以这里的结果可以解释为种群特异性或生物多样性的原因. 3) 在人类尽管掌骨 MW 变量性差最大, 但是由于这些变量性差受到年龄和环境因素影响较大, 所以体质人类学家在使用掌骨鉴定性别时, 首选使用的掌骨变量仍然是 LG. 4) 本研究中发现一些掌骨 LG 的性差并不是最大的, 就像人类掌骨, 逐步逻辑回归选择出来的最佳变量不是掌骨 LG, 而是 HW 和 MW(见表 1).

逻辑回归和 ROC 分析结果显示掌骨在侧别之间的性差几乎相同. 本结果与人类掌骨性差研究结果不同. 人类右侧掌骨性差一般大于左侧掌骨. 理论上可以预测这一结果. 因为人类存在右利手. 但是总体上, 男女两侧掌骨性差相似是对称的^[11]. Kusec 等^[12]报道人类两侧掌骨是对称的, 推测他们在两手的使用上是一

致的.但是 Alicioglu 等^[13]在研究土耳其人掌骨时严格限制左手,主要是为了减少一些行为活动对实验结果的影响. Krishan 等^[14]发现男性两侧所有掌骨 LG 均值是明显大于女性.这一点可以解释为男性由于受到机械刺激产生更大的肌肉需求.猕猴在手的使用一般不存在种群水平上的利手现象^[15].综上所述,可以解释为什么猕猴与人类掌骨侧面性差不同,为什么猕猴两侧掌骨的性差较小.结果提示在太行山猕猴两侧手的使用上对性别的影响很小.

两侧掌骨都是 MC5 的判别率最高,意味着 MC5 可能性差较大.总体规律是 MC5 和 MC4 性差较大,MC1 性差较小.人类 5 根掌骨性差大小排序研究较多,Barrio 等^[11]测量了西班牙人掌骨的 8 个变量,通过逐步判别分析得到一系列判别函数.结果表明:性别判别率最高(91.4%)的变量是 LMC2HW;性别判别率最低(81.2%)的变量分别是 RMC4BH 和 RMC5MW.总体上 MC2 提供最好的性别判别函数,这一结果与以前许多研究结果一致^[16-18].有关非人灵长类掌骨性差资料较少. McFadden 等^[9]报道了大猩猩和黑猩猩掌骨 LG 均值,两侧掌骨合并计算结果显示,大猩猩性差最大的是 MC5,其次是 MC2,最小的是 MC1.黑猩猩的总体上性差小于大猩猩. McFadden 指出无论是大猩猩还是黑猩猩可能和人类一样,掌骨在早期生长发育时明显受到性激素的调控^[9].他们的研究结果总体上是支持这里的猕猴掌骨性差研究结果.毫无疑问,一个种群的生物学起源包括性差的起源和发生是会受到长时间演化和数学问题等因素的制约.

参 考 文 献

- [1] Shreuer J L, Elkington N M. Sex determination from metacarpals and first proximal phalanx[J]. *Journal of Forensic Sciences*, 1993, 38: 769-778.
- [2] Khanpetch P, Prasitwattanseree S, Case D T, et al. Determination of sex from the metacarpals in a Thai population[J]. *Forensic Science International*, 2012, 217: 229-236.
- [3] 赵晓进,罗艳蕊,李 炎,等.太行山猕猴颅骨变量主成分分析[J]. *河南师范大学学报:自然科学版*, 2001, 29(2): 54-56.
- [4] 赵晓进.太行山猕猴髌骨变量研究初报[J]. *人类学学报*, 2003, 22(1): 69-74.
- [5] 赵晓进,雷梦云,张红绪,等.太行山猕猴肩胛骨和肱骨的性别研究[J]. *动物学杂志*, 2004, 39(3): 351-54.
- [6] 闫鑫甜,张弯弯,徐小解,等.猕猴趾骨性别逐步判别分析[J]. *解剖学杂志*, 2012, 35(5): 670-674.
- [7] 胡海洋,赵晓进,周 迪,等.太行山猕猴掌骨性别判别分析[J]. *人类学学报*, 2013, 32(2): 226-232.
- [8] Tague R G. Variability of metapodials in primates with rudimentary digits; *Ateles geoffroyi*, *Colobus guereza*, and *Perodicticus potto* [J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 2002, 117(3): 195-208.
- [9] McFadden D, Bracht M S. Sex difference in the relative lengths of metacarpals and metatarsals in gorillas and chimpanzees[J]. *Hormones and Behavior*, 2005, 47(1): 99-111.
- [10] Smith S L. Attribution of hand bones to sex in population groups[J]. *Journal of Forensic Sciences*, 1996, 41: 469-477.
- [11] Barrio P A, Trancho G L, Sanchez J A. Metacarpal sexual determination in a Spanish population [J]. *Journal of Forensic Sciences*, 2006, 51: 990-995.
- [12] Kusec V, Simic D, Chaventre A, et al. Age, sex and bone measures of the second, third and fourth metacarpal (Island of Pag, S R Croatia, Yugoslavia) [J]. *Collegium Antropologicum*, 1988, 12: 309-322.
- [13] Alicioglu B, Yilmaz A, Karakas H M, et al. Sex determination by interarticular distance of metacarpals and phalanges: a digital radiologic study in contemporary Turkish people [J]. *Journal of Anatomy*, 2009, 3: 14-20.
- [14] Krishan K, Kanchan T, Sharma A. Sex determination from hand and foot dimensions in a North Indian population[J]. *Journal of Forensic Sciences*, 2011, 56: 453-459.
- [15] Deuel R K, Dunlop N L. Hand preferences in the rhesus monkey implications for the study of cerebral dominance[J]. *Archives of Neurology*, 1980, 37: 217-221.
- [16] Kusec V, Simic D, Chaventre A, et al. Age, sex and bone measures of the second, third and fourth metacarpal (Island of Pag, S R Croatia, Yugoslavia) [J]. *Collegium Antropologicum*, 1988, 12: 309-322.
- [17] Falsetti A B. Sex assessment from metacarpals of the human hand [J]. *Journal of Forensic Sciences*, 1995, 40: 774-776.
- [18] Lazenby R A. Circumferential variation in human second metacarpal cortical thickness: sex, age, and mechanical factors[J]. *Anatomical Record* 2002, 267: 154-158.

Effect of WPI on Immune Function and Antioxidant Capacity During Specific Training Period before Competition in Elite Track and Field Athletes

LI Wenhua¹, YANG Xiangang²

(1. Sports Training School, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, China;

2. Hebei Research Institute of Sports Science, Shijiazhuang 050001, China)

Abstract: Objective: To investigate the effect of WPI (whey protein isolate) on athletes' immune function and antioxidant capacity during specific training period before competition. Method: During specific training period, seventeen elite male middle distance runners were randomly divided into experimental group (E, n=9) and the control group (C, n=8). Except normal diet, athletes only in E group took WPI for 4 weeks with 22 g every time and once every day. Indicators of immune function and antioxidant capacity in blood were determined. Result: (1) In post-test, the levels of CD4, IL-4 and IFN- γ in E group were all higher than those in C group ($P<0.05$, $P<0.05$, $P<0.05$). No significantly difference between two groups in other indicators was found. (2) In post-test, the levels of SOD, GST and GSH-Px in E group were higher than those in C group ($P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.01$), while MDA was lower ($P<0.05$). Conclusion: (1) During specific training period before competition, WPI could obviously increase antioxidant capacity of athletes, mainly by enhancing the activity of antioxidant, especially for glutathione-related enzymes, reduced the production of free radicals metabolites. (2) Also, WPI might help to activate immune function, by activation of helper T lymphocytes and regulation of cytokines involved in Th1/Th2 immune balance simultaneously.

Keywords: WPI; immune function; antioxidant capacity

(上接第 128 页)

Sex Determination from the Metacarpals in *Macaac mulatta* using Logistic Regression

HU Fengxia^a, HU Haiyang^b, TIAN Huaxiang^a, ZHAO Zhe^b, SU Ruiping^a, ZHAO Xiaojin^a

(a. College of Fisheries; b. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: Logistic regression was used in order to predict sex based on values of predictor variables of the metacarpal. ROC analysis was used to assess sexing performance at several different measurement values, different sides of the body throughout the distribution and which metacarpals would produce the greatest accuracy. The sample selected for this study consists of 44 skeletons of adult *Macaac mulatta* (14 males, 30 females) from Taihang Mountains. Data was analyzed using SPSS 20.0 version. Seven variables were taken on each metacarpals. Stepwise logistic regression model were performed using all seven variables to choose the best variable. Results: In the models the best variable for the metacarpals is LG followed by HH, HW, BH and BW Logistic regression models were formed to estimate sex, ranging from 71.4%-100.0% for the pooled individuals being correctly classified. There were very small bilateral differences by using ROC analysis, and the AUC values were similar between two sides, with 0.969 and 0.978 for left and right metacarpals, respectively. For five metacarpals of both hands in this study, the percentage of correct classification was higher for MC2, MC4 and MC5 (90.0%-94.9%) and lower MC1 and MC3 (85.8%-87.5%), respectively. In general, results from this study suggest that the measurements of metacarpals appear to be good discriminators of sex. These findings suggest that the pattern of sexual dimorphism for metacarpals may be different from that in human.

Keywords: *Macaca mulatta*; metacarpal; sex dimorphism; logistic regression; ROC analysis