

文章编号: 1000-5862(2012)05-0547-05

太行山猕猴掌骨和跖骨的波动性不对称

王凤产^{1,2}, 胡晓林², 赵晓进^{2*}, 赵璇², 党晓云^{1,2}, 燕帅国²

(1.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100000; 2.河南师范大学生命科学学院, 河南 新乡 453007)

摘要: 记述了太行山猕猴掌骨和跖骨的波动性不对称性(FA)特征. 掌骨标本 35 例(雄 8, 雌 27), 跖骨标本 33 例(雄 8, 雌 25). 选择变量 5 个, 分别是掌骨和跖骨最大长、中间宽、中间高、中间周长和中间横截面积. 用 SPSS13.0 统计软件进行正态分布检验和波动性不对称的性差分析. 研究表明: 掌骨和跖骨的 5 个变量 FA 值大部分不符合正态分布($P < 0.05$); 掌骨和跖骨 FA 值与身体大小相关性较弱; 掌骨和跖骨中间横截面积 FA 值相对较大, 其他变量的 FA 值相对较小; FA 值存在一定程度的性差. 推测猕猴掌骨和跖骨 FA 特征是种群水平上的, 主要是遗传和出生前后环境因素作用的结果.

关键词: 猕猴; 掌骨和跖骨; 测量; 波动性不对称

中图分类号: Q 954

文献标志码: A

0 引言

灵长类的长骨中所表现出的侧别不对称性主要涉及到波动性不对称(FA)和方向性不对称(DA)^[1]. FA的大小可以作为机体在群体水平上的发育是否稳定或机体发育中抗干扰能力的一个重要指标. L. A. Sarringhuas^[2]报道了黑猩猩有关长骨的不对称性特征, 指出肱骨是左侧大于右侧, 第2掌骨具有右侧大于左侧的趋势. J. Fagot等^[3]报道了猕猴在完成与触觉和视觉有关的试验中表现出明显的左利手现象, 提示猕猴在涉及到触觉、视觉和空间位置等功能行为时可能与右大脑半球功能特化有关. S. A. Mays^[4]对人类骨骼第2掌骨标本进行研究, 结果表明: 第2掌骨的不对称性与其从事的职业和性别有关. 本文根据收集到的太行山猕猴(*Macaca mulatta*)掌骨和跖骨标本, 探讨猕猴掌骨和跖骨FA特征, 为灵长类骨学、行为学及形态学等积累资料.

1 材料和方法

太行山猕猴掌骨标本 35 例(雄性 8 例, 雌性 27 例), 跖骨 33 例(雄 8 例, 雌 25 例). 掌骨和跖骨标本获得主要通过猕猴自然死亡遗体或动物实验后遗体

等. 根据掌骨和跖骨头完全愈合表明标本为成年. 标本现存河南师范大学生命科学学院.

线性测量工具为国际标准游标卡尺, 单位 mm, 精度 0.02 mm. 测量 5 个变量分别为掌骨和跖骨左右侧对称部位的最大长度(L)、中间宽(W=最大长度中间 50%处宽, 下同)、中间高(H)、中间周长(P)和中间横截面积(S). 周长 P 用细金属丝缠绕测量. 面积 S 计算公式: $S = \pi ab$, 其中 $a = W/2$, $b = H/2$. 左右侧掌跖骨同时进行测量. 为了减少误差, 标本测量由一个人完成, 由另外一个人对测量数据进行复核. 测量变量位点见图 1.

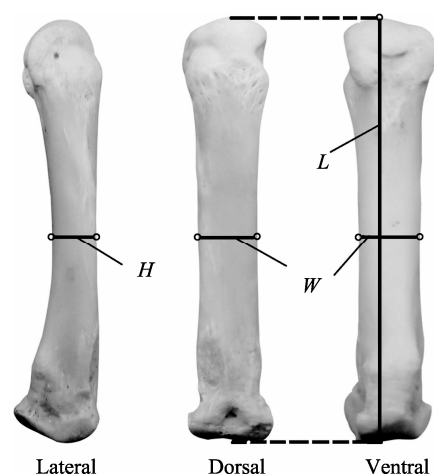


图 1 猕猴第 3 掌骨形态变量测量位点

收稿日期: 2012-04-10

基金项目: 河南省动物重点学科基金(豫教材[2005]160 号)和河南师范大学博士科研启动基金(5225441)资助项目.

作者简介: 赵晓进(1957-), 男, 山东聊城人, 教授, 主要从事灵长类生物学研究.

字母标识: 第 1 掌骨标记为 1Mc, 第 2 掌骨标记为 2Mc, 其它依次类推. 同样, 第 1 跖骨标记为 1Mt, 第 2 跖骨标记为 2Mt, 其它依次类推.

(1)式为 FA 计算公式^[1], 其中 L=左侧掌骨和跖骨相应变量的量度, R=同源右侧掌骨和跖骨相应变量的量度.

$$FA = \frac{(R-L)}{(R+L)/2} \times 100. \quad (1)$$

数据分析采用 SPSS 13.0 统计软件, 对掌骨和跖骨测量数据进行描述性统计. 正态分布检验采用 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 方法. FA 组间差异用非参数 Mann-Whitney 检验.

2 结果

2.1 正态分布检验

研究结果表明: 5 根掌骨和 5 根跖骨的 5 个变量 FA 值 Shapiro-Wilk 检验大部分变量(49/50)达到 $P < 0.05$ 的统计学检验水平, 说明不符合正态分布, 所以 FA 值组间差异检验要用非参数检验方法(见表 1).

考虑到 FA 值可能与样本个体大小存在一定的联系, 所以做个体大小与 FA 值之间的相关分析. 根据文献[2], 动物个体大小用可以用相对应动物标本的股骨长代替. Pearson 相关分析结果表明: 掌骨 5 个形态变量的 FA 值与股骨长相关性较弱($P > 0.05$).

跖骨的 5 个变量, 除了个别变量(雌性 3Mt 的 L, 雌性 4Mt 的 H, 雄性 5Mt 的 L)有一定的相关性外 ($P < 0.05$), 其它大部分变量与股骨长之间呈弱的相关性($P > 0.05$), 结果见表 2.

2.2 FA 量度

掌(跖)骨的形态变量 FA 值呈非正态分布, 基本统计量(见表 3)用中间数(Median)和 4 分位数间距(Inter-quartile range)来描述. 结果表明: (i)掌骨的 FA 值相对较大, 跖骨的 FA 值相对较小, 特别是中间横截面积 S 的 FA 值. 5 根掌骨 S 的平均 FA 值是 4.382 4, 跖骨的平均值是 3.896 6. 结果提示掌骨和跖骨 FA 值可能存在一定的差异; (ii)图 2 显示 5 根掌(跖)骨的 5 个形态变量 FA 值的中间值. L 是最小的, 其次是 W、H 和 P, 最大的是 S, 结果提示掌跖骨不同的形态变量 FA 大小是不同的; (iii)FA 值性差. 5 根掌骨 S 多数情况下是雌性的 FA 值大于雄性. 跖骨这一性差特征并不显著, 见表 3. 表 4 是 Kolmogorov-Smirnov 检验结果, 表明掌骨和跖骨的 10 个 FA 统计量所对应的 P 值可能存在性差. 雄性 2/10 统计量 $P < 0.05$, 不服从正态分布, 其它服从正态分布. 雌性 7/10 统计量 $P < 0.05$, 不服从正态分布. 用独立样本 Mann-Whitney 检验(表 5)Z 值来确定 FA 中间值在性别间是否存在差异. 结果表明 FA 值在性别之间无统计学显著性差异($P > 0.05$).

表 1 掌跖骨 5 个特征变量的 FA 值正态分布检验

	1Mc	2Mc	3Mc	4Mc	5Mc	1Mt	2Mt	3Mt	4Mt	5Mt
L	0	0	0	0	0	0.001	0	0.003	0	0
W	0	0	0.005	0	0.004	0.022	0	0.004	0.004	0.014
H	0.002	0	0.002	0	0	0.035	0	0.008	0.010	0
P	0.001	0.008	0.009	0	0	0.029	0.002	0.008	0.043	0.002
S	0.017	0	0	0	0.004	0	0	0.130	0	0.008

L=Length, W=Width, H=High, P=Perimeter, S=Square. Mc = metacarpal ;Mt= metatarsal; P value from Shapiro-Wilk test. P-value significant at $P < 0.05$.

表 2 FA 值与股骨长的 Pearson 相关系数

Bones	L		W		H		P		S	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
1Mc	-0.508	-0.118	0.244	0.098	0.083	0.199	-0.273	-0.213	-0.480	0.204
2Mc	-0.484	0.342	0.051	0.248	-0.631	0.368	0.021	0.101	-0.584	0.227
3Mc	-0.056	0.000	0.745*	-0.180	0.104	0.210	0.007	-0.049	0.116	0.035
4Mc	-0.354	-0.037	0.138	-0.224	0.326	-0.303	-0.325	-0.365	0.363	-0.265
5Mc	-0.387	-0.092	0.113	0.144	-0.546	-0.051	-0.546	-0.149	-0.522	0.175
1Mt	-0.280	0.090	0.198	-0.297	0.149	-0.128	0.642	-0.083	0.325	-0.103
2Mt	-0.389	-0.212	-0.320	-0.011	-0.613	0.148	0.257	0.014	-0.617	0.192
3Mt	-0.351	0.553*	-0.596	-0.239	-0.182	-0.013	-0.390	0.219	-0.559	-0.133
4Mt	0.330	-0.069	-0.444	0.114	-0.168	-0.510*	0.159	0.010	-0.240	-0.301
5Mt	-0.711*	0.211	-0.581	-0.248	-0.385	-0.415*	0.094	-0.136	-0.617	-0.345

*: Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

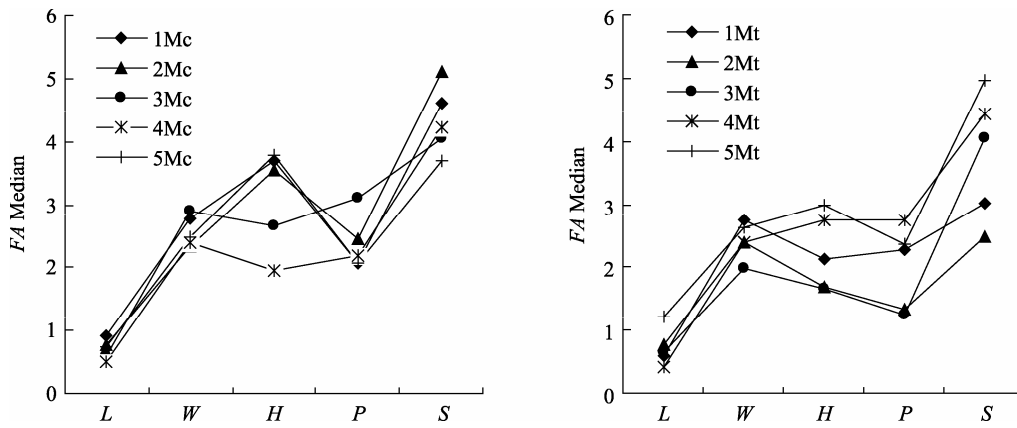


图 2 掌骨(左)和跖骨(右)的 5 个变量 FA 均值比较

表 3 掌骨和跖骨的 FA 基本统计量

Bones	sex	L		W		H		P		S	
		Median	Inter	Median	Inter	Median	Inter	Median	Inter	Median	Inter
1Mc	M	0.455	1.855	0.946	6.023	4.651	11.736	2.040	3.433	3.825	5.891
	F	0.970	1.710	3.498	4.499	3.626	4.068	2.100	4.125	4.907	5.919
2Mc	M	0.911	0.969	2.334	2.809	1.358	6.442	2.929	2.816	4.258	6.195
	F	0.734	1.059	2.245	6.190	3.844	4.233	2.140	2.358	5.279	7.700
3Mc	M	1.257	3.155	2.670	2.997	3.050	4.516	4.472	5.728	5.309	5.155
	F	0.571	1.113	2.953	3.664	2.434	4.353	2.784	3.677	3.970	4.033
4Mc	M	0.336	0.925	2.200	2.308	2.040	1.212	2.363	3.528	3.878	2.495
	F	0.707	0.904	2.542	4.561	1.964	3.130	2.050	5.111	4.460	6.076
5Mc	M	1.141	1.203	1.804	2.505	3.713	2.631	2.270	6.928	3.641	8.225
	F	0.651	1.186	2.614	3.648	3.787	3.925	2.082	3.968	4.297	7.846
1Mt	M	0.741	0.977	2.616	3.316	2.009	2.482	1.901	3.982	3.265	2.667
	F	0.540	0.953	2.584	3.044	2.011	3.041	2.901	3.165	3.002	3.124
2Mt	M	1.099	2.074	1.540	5.298	1.770	6.435	1.164	2.903	3.352	11.380
	F	0.550	0.804	2.520	2.056	1.748	1.544	1.440	1.820	2.437	3.562
3Mt	M	1.180	1.118	2.068	5.165	1.223	3.373	0.769	1.704	2.988	6.736
	F	0.549	0.970	1.952	2.430	1.683	2.724	1.639	3.078	4.562	3.225
4Mt	M	0.416	0.208	3.099	5.107	2.961	4.804	2.903	2.555	4.157	6.127
	F	0.396	1.577	2.356	3.830	2.595	3.289	2.483	2.577	4.638	3.054
5Mt	M	0.625	2.506	2.481	7.419	3.261	3.670	2.892	2.174	5.263	7.261
	F	1.374	2.536	2.722	3.347	2.963	6.646	2.104	5.444	5.302	9.504

L=Length, W=Width, H=High, P=Perimeter, S=Square. Mc = metacarpal; Mt= metatarsal; Inter= Interquartile range; M= Male, F= Female.

表 4 FA 值单样本正态分布检验(Kolmogorov-Smirnov)

		Metacarpal					Metatarsal				
		L	W	H	P	S	L	W	H	P	S
Male	N	39	39	39	39	39	48	48	48	48	48
	Mean	1.436	2.741	4.140	3.292	5.121	1.210	3.482	3.036	2.327	5.089
	Z-value*	1.654	0.995	1.293	0.837	1.061	1.453	1.231	1.126	0.949	1.252
	Sig.	0.008**	0.275	0.071	0.485	0.210	0.029**	0.097	0.158	0.328	0.087
Female	N	131	131	131	131	131	115	115	115	115	115
	Mean	1.029	3.678	3.559	2.942	5.843	1.096	2.869	2.902	2.548	4.519
	Z-value*	2.012	1.519	1.320	1.578	1.735	2.388	1.107	1.867	1.302	1.414
	Sig.	0.001**	0.020**	0.061	0.014**	0.005**	0**	0.173	0.002**	0.067	0.037**

*Z-value from one-sample Kolmogorov-Smirnov test. z-value significant at P<0.05.

表5 性别之间独立样本FA值Mann-Whitney检验

	Z-value*									
	1 Mc	2Mc	3Mc	4Mc	5Mc	1Mt	2Mt	3Mt	4Mt	5Mt
L	-1.129	-0.203	-1.674	-0.668	-1.151	-0.063	-1.859	-1.675	-0.166	-0.792
W	-0.277	-0.203	-0.076	-0.982	-1.174	-0.314	-0.387	-1.344	-0.350	-0.037
H	-0.149	-0.974	-0.495	-0.314	-0.158	-0.440	-0.166	-0.018	-0.828	-0.608
P	-0.021	-0.406	-1.636	-0.275	-0.226	-0.272	-0.828	-1.601	-0.166	-0.129
S	-0.958	-0.528	-1.180	-0.825	-0.181	-0.482	-1.417	-0.571	-0.166	-0.939

Z-value from independent-sample Mann-Whitney test between sexes.

3 讨论

R. Thornhill等^[6]指出在人类医学研究中FA就像温度计一样可以作为检测内环境变化的指示器,然而FA比体温计具有更大的应用价值和应用范围. S. A. Mays^[4]测量了人类掌骨标本两侧不对称性,指出在一定的范围内,第2掌骨骨干中间横截面积的FA随着从事的职业不同而变化,同时发现FA在性别之间也存在一定差异. J. Fagot等^[3]研究了猕猴通过触觉器官去寻找坚果时,具有明显的左利手现象;通过视觉去寻找坚果时,具有较弱的利手现象. 有关猕猴掌骨和跖骨形态不对称性研究国内尚未见报道. 本研究选择掌骨和跖骨5个基本变量来了解FA的特征,主要解决有关掌骨和跖骨不对称性的几个问题: (i)FA的分布情况和FA与个体大小的关系; (ii)FA在性别之间的差异; (iii)FA在掌骨和跖骨之间的差异; (iv)不同变量之间FA的差异. 本研究可以为不同种属之间掌骨形态比较和行为学研究提供资料.

3.1 FA的分布和与个体大小相关性

这里选择 Shapiro-Wilk 检验主要考虑到 SPSS 操作简单, 检验适用于样本量在 3~50 之间的数据. 与 Kolmogorov-Smirnov 检验相比, 推断样本是否来自正态分布总体更加敏感. 表 1 可以看出, 其检验统计量所对应的 Sig 值绝大部分都小于 0.05, 表明数据不服从正态分布. 描述性统计量的均值和标准差可以用其中间值和四分位数间距来代替^[4]. 由于这里研究的样本个体大小范围较大, 所以在开始试验时应该明确在 FA 与样本个体大小是否存在一定的联系, 要尽可能排除个体大小对 FA 的大小可能会产生一些潜在的影响. 表 2 表明在掌骨上无论雄性还是雌性, 所有的 FA 值与个体大小(这里用股骨长代表)均称弱的正相关或负相关关系, 只有少数变量之间达到显著性相关水平. 研究结果提示掌骨的 FA 可能与个体大小无关, 这一点与 S. A. Mays 报道的人类掌骨 FA 特征是一致的. 跖骨与掌骨比较起来, 总体上是一致的, 少数雌性 FA 值与股骨长表现出一定的相关性, 主要是负相关, 结果提示一些跖骨

的 FA 可能会随个体形态的增加而减少. 但是这里由于出现频率较少, 还不能完全反映整体种群的水平. 通过对第 2 掌骨最大长的 FA 值与身体大小进行回归分析, 结果表明太行山猕猴的掌骨 FA 与身体大小的关系并不十分密切($R=0.02$, $P=0.441$). 推测猕猴所表现出来的 FA 特征是种群水平上的, 主要是遗传和出生前后环境因素作用的结果.

3.2 FA的性差

有关猕猴掌骨和跖骨形态变量 FA 的性差是本研究所关注的一个重要问题. S. A. Mays 研究了人类的第 2 掌骨一些形态变量的 FA, 指出第 2 掌骨骨干的宽、高和骨干中间面积的 FA 值存在明显的性差 ($P<0.05$). 本研究结果表明太行山猕猴掌骨和跖骨 FA 存在一定的性差. 这一点从 FA 基本统计量和 FA 正态分布检验结果可以看到, 尽管这种性差表现较弱. 猕猴与人类掌骨和跖骨 FA 表现出性差的差异是可以解释的, 这与灵长类动物中的进化程度有关, 与人类转到地面生活有关, 另外非人灵长类不会向人类那样具有明显的利手现象、手工操作技能差异以及男女从事职业的差异等. 值得注意的是, 在猕猴掌骨和跖骨上表现出来 FA 值的性差方向与人类相反. S. A. Mays 报道人类第 2 掌骨骨干中间面积的 FA 是男性大于女性, 本文观察的猕猴掌骨结果是雌性大于雄性. 这一点在不同性别的 FA 值正态分布检验也显示出来. S. A. Mays 报道人类掌骨男性 FA 值比女性更偏离正态分布. 本文观察的猕猴掌骨结果 FA 值是雌性比雄性更偏离正态分布(见表 4), 这种不同种属之间在性差方向上出现差异的原因并不是很清楚. 有资料表明: FA 反映了机体抵抗或缓冲发育干扰的能力^[3], 考虑到男性的组织器官在生长发育中对环境压力更敏感^[4], 因此在男性群体可能会反映出较高水平的 FA. 初步分析这种差异的可能原因是: (i)不同种群之间本身存在一定差异, 主要是由于进化水平和遗传基因控制; (ii)本研究雄性标本较少可能也会影响统计结果, 需要补充标本进一步研究; (iii)还有一个原因就是可能雄性动物具有更强的抗环境干扰的能力, 所以整体上表现出雄性有较低的 FA. 由于缺乏其他灵长类(例如大猩猩)的掌

骨和趾骨 *FA* 性差资料, 所以还需要进一步通过非人灵长类动物种属之间的比较, 才能对实验结果做出合理的解释。

本文还比较了掌骨和趾骨之间 *FA* 特征。从图 2 可以看到掌骨和趾骨的 5 个形态变量的 *FA* 值具有明显的共同特征。相对应的 5 根掌骨和 5 根趾骨最大长的 *FA* 值相对比较集中, *FA* 值最小。5 根掌骨或趾骨组间没有统计学意义上显著性差异 ($P>0.05$); 掌(趾)骨的其他 3 个形态变量的 *FA* 值(*W*、*H* 和 *P*)特点是: *FA* 值居中, 组间变化较大, 一些变量组间 *FA* 值有统计学上显著性差异 ($P<0.05$)。例如由中间周长变量计算得到的 *FA* 值在 2Mc 与 2Mt 之间有统计学差异 ($Z=-2.315$, $P=0.022$); 5 根掌骨和 5 根趾骨 *S* 变量的 *FA* 值最大, 掌骨和趾骨相对应的 *FA* 值表现出一定的差异。如同样 5Mc 与 5Mt 之间表现出差异 ($Z=-2.884$, $P=0.004$)。另外, 从图 2 中也可以看到, 无论掌骨还是趾骨, 不同变量之间的 *FA* 也有明显的差异。笔者认为这些差异可能体现了自然界生物多样性的自然属性之一, 同时可能与猕猴的生活习性、使用频率、活动范围以及灵活程度有关。也有可能与样本的大小有关。

4 参考文献

- [1] Auerbach B M, Ruff C. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans [J]. *Journal of Human Evolution*, 2006, 50: 203-218.
- [2] Sarringhaus L A, Stock J T, Marchant L F, et al. Bilateral asymmetry in the limb bones of the chimpanzee (*Pan troglodytes*) [J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 2005, 128: 840-845.
- [3] Fagot J, Drea C M, Wallen K. Asymmetrical hand use in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) in tactually and visually regulated tasks [J]. *Journal of Comparative Psychology*, 1991, 105(3): 260-268.
- [4] Mays S A. Asymmetry in metacarpal cortical bone in a collection of ritish post-mediaeval human skeletons [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2002, 29: 435-444.
- [5] Wood B A. An analysis of tooth and body size relationship in five primate taxa [J]. *Folia Primatolo*, 1979, 31 (3): 187-211.
- [6] Thornhill R, Moler A P. Development stability, disease and medicine [J]. *Biological Reviews*, 1997, 72: 497-548.
- [7] Klingenberg C P. Fluctuating asymmetry and animal welfare: How far are we and how far should we go [J]. *The Veterinary Journal*, 2004, 31: 245-249.
- [8] Guatelli-Steinbeg D, Lukacs J B. Interpreting sex differences in Enamel Hypoplasia in human and nonhuman primates: developmental, environmental, and cultural considerations [J]. *Yearbook of Physical Anthropology*, 1999, 42: 73-90.

The Fluctuating Asymmetry in Metacarpal and Metatarsal Dimensions of Macaque

WANG Feng-chan^{1,2}, HU Xiao-lin², ZHAO Xiao-jin^{2*}, ZHAO Xuan²,

DANG Xiao-yun^{1,2}, YAN Shuai-guo²

(1. School of the Earth and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100000, China;

2. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang Henan 453007, China)

Abstract: In the paper, the fluctuating asymmetry (*FA*) in metacarpal and metatarsal dimensions of adult macaque (*Macaca mulatta*) from Taihang mountains has been surveyed. Osteological materials were obtained from 35 adult individuals, including 35 metacarpals and 33 metatarsals. Five dimensions, including metapodial length, dorsoventral diameter, mediolateral diameter, and circumference were measured at mid-shaft and metapodial midshaft cross-sectional area were calculated using the formula for an ellipse. Lilliefors tests, Shapiro-Wilk tests and independent-samples Mann-Whitney test adopting SPSS 13.0 for windows were used to determine the normality and sex differences of asymmetry. Results indicated that the *FA* scores of five dimensions in metacarpals and metatarsals in most instances deviated from normality and attained statistical significance at the $P<0.05$ level. Analysis of correlation coefficients in most instances indicated that for no parameter does the association between body size and *FA* scores reach statistical significance in either sex. The mid-shaft area for the metacarpals and metatarsals showed relatively larger measurements, and other variables showed relatively smaller measurements. Sex differences in *FA* were also found in varying degrees. The results suggest that the traits of *FA* may be population-specific and mainly relate to the genetic component, testosterone levels and postnatal environment, such as mechanical loading and other important behaviors in primates.

Key words: macaque; metacarpal and metatarsal; measurement; fluctuating asymmetry

(责任编辑: 刘显亮)