

动物指(趾)长比研究进展

赵晓进^{1a}, 王凤产^{1a}, 多甜^{1a}, 翟鹏飞^{1b}, 王湾湾², 田华香^{1a}

(1. 河南师范大学 a. 水产学院; b. 体育学院, 河南 新乡 453007; 2. 杭州电子科技大学 计算机学院, 杭州 310018)

摘要:指长比(FLRs)是指人类或动物的指(趾)长度的比值. 目前人们认为人类的食指与无名指的长度比值(2D:4D)可以作为是否受到产前性激素的影响(PAE)一个生物学标记. 近几十年来人类 FLRs 研究在国内外得到快速发展. 已经涉及基因调控、利手现象、心脏病、乳腺癌、性格特征、不对称、运动能力和孤独症等方面. 进一步研究发现在其他一些哺乳动物中 FLRs 也存在一定性差, 例如, 小鼠、狒狒、大猩猩、黑猩猩、斑马雀和蜥蜴等. 本文对动物的 FLRs 研究进展做一综述.

关键词:指长比(FLRs); 产前性激素影响(PAE); 动物

中图分类号:Q954

文献标志码:A

1 概述

指长比(FLRs)是指人类或动物的指(趾)长度的比值. 目前人们普遍认为 FLRs 主要受到产前性激素的影响(PAE). 一般由 Hox 基因决定. 由于拇指(趾)的长度测量有些困难, 因此 FLRs 主要是指 2D:3D、2D:4D、2D:5D、3D:4D、3D:5D 和 4D:5D^[1]. 由于人类 2D:4D 具有显著的性别差异和种群特异性, 与许多身体状况有关^[2], 所以, 目前人类的 2D:4D 研究得到更为广泛的关注.

Manning 从 1998 年开始对 FLRs 进行系列研究并出版了专著^[3]. 截至 2012 年, 他的团队在国外著名期刊上已经发表相关论文 78 篇.

Nelson 等研究化石人猿超科种的 FLRs 与社会行为间的关系^[4]. 同时, 她们还对长臂猿、黑猩猩、猩猩和猕猴等 FLRs 了研究^[5-6].

赵晓进等对太行山猕猴的 FLRs 做了初步研究^[7-9], 截至 2015 年, 他的团队在国内外有关期刊上公开发表相关论文 31 篇.

以前大多数研究主要集中在人类的 FLRs 上. 国内外有关灵长类、哺乳动物和鸟类的 FLRs 研究并不多见. 本文对动物的 FLRs 研究现状和进展综述如下.

2 研究现状

2.1 研究历史回顾

Ecker 等^[10]发现非人灵长类的手指具有相对较长的无名指(4D)或相对较短的食指(2D). Ecker 认为如果在人类手上出现这一性状, 推测是出现返祖现象. Schultz^[11]发现几乎所有的非人灵长类都是 4D>2D 或具有较低的 2D:4D. 这一性状在成年和幼年的吼猴(*Alouatta palliata*)、安哥拉疣猴(*Colobus abyssinicus*)、猩猩(*Pongo pygmaeus*)和黑猩猩(*Pan troglodytes*)的手指上得到证实. 他们同时指出控制性腺形成的 Hox 基因可能会影响到脚趾的发育. Sorell^[12]通过大猩猩手的照片证实了非人灵长类的手指长度排序总

收稿日期:2015-07-10;修回日期:2015-12-17.

基金项目:河南省基础与前沿技术研究计划项目(132300410136);河南师范大学博士科研启动课题资助(5102109179103).

第1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,主要从事非人灵长类生物学研究,

Email: zxj_6119@163.com.

是 $3D > 4D > 2D > 5D > 1D$. Falk 等^[13]首次报道猕猴 2D 最大长均值(右 36.86 mm, 左 36.86 mm). 遗憾的是他们没有报道其他 4 指的数据. Patton 等^[14]报道了实验小鼠出生前后前后趾生长发育过程. 结果显示无论是前趾是后趾, 拇趾与其他 4 趾的发育过程和骨化程度不同. Kondo 等^[15]指出在所有的脊椎动物中几乎都存在还 Hox 基因. 认为子宫内性激素水平与 FLRs 联系主要是通过 Hox 基因的控制.

2.2 非人灵长类动物 FLRs 研究

自 21 世纪始, Williams^[16]在 Nature 上发表文章, 指出 FLRs 可能会提供人类早期发育的某些重要的信息. 此后, FLRs 的研究日益增多. 在非人灵长类和其他物种的 FLRs 研究迅速增加. McGrew 等^[17]报道狒狒掌(趾)骨的相对长度存在明显的性别差异. 后来 McFadden 等^[18]又发现大猩猩和黑猩猩的掌(趾)骨的相对长度也存在明显的性别差异; 黑猩猩掌(趾)骨长度比率的性差明显小于大猩猩^[19-20]. Tague 等^[21]也报道了狒狒掌骨长比值存在性差. 这些研究没有涉及真正的 FLRs.

Roney^[22]调查了几内亚狒狒的 FLRs, 推测 FLRs 可能与血清睾酮之间存在一定联系. 雄性比雌性狒狒显示出较大的 $2D : 4D$. 但是, 在雄性狒狒中发现较低的 FLRs 与高的血清睾酮存在相关性, 与人类报道的 FLRs 与性激素水平的关系是一致的^[3].

McIntyre 等^[23]报告了 79 例黑猩猩(chimpanzees)和 39 倭黑猩猩(bonobos)的 FLRs 研究结果. 结果显示倭黑猩猩和黑猩猩的 $2D : 4D$ 都存在性差, 但是倭黑猩猩比黑猩猩性差要更大一些. 他们推测这两个物种之间 FLRs 差异可能是由于物种的社会行为差异和早期发育过程中 PAE 的作用所致.

Nelson^[5]检测了猕猴 $2D : 4D$ 的遗传力, 结果提示猕猴的 $2D : 4D$ 在一个家族中具有明显的遗传力. 这种 FLRs 的遗传力与人类的 FLRs 遗传力一致. 同年 Nelson 等^[4]在更为广阔背景下研究了 FLRs 与非人灵长类行为之间的关系. 一夫多妻制社会的物种与一夫一妻制社会的物种比较, FLRs 表现不同. 由于在种内性别之间的竞争水平不同, 可能会导致具有较高的 PAE(或较低 FLRs).

2.3 太行山猕猴 FLRs 研究现状

赵晓进等^[7-9]在国内首次报道了太行山猕猴掌骨长比值与活动强度之间的关系. 整体上, 雌性掌骨长比值大于雄性掌骨长比. 提示猕猴一些掌骨长比值可能与其运动能力有一定的关系.

赵晓进等最近研究了太行山猕猴 FLRs 性差^[24]. 测量 35 例骨骼标本的 FLRs. 结果显示手上 FLRs 没有明显的性差($P > 0.05$); 脚上 FLRs 的一些比值性差显著($P < 0.05$); FLRs 性差的方向是雄性大于雌性; 提出猕猴 FLRs 性差与人类明显不同. 提示人类和非人灵长类动物的 FLRs 发育模式可能不同.

2.4 其他物种 FLRs 研究

Manning 和 Brown 等^[25-26]先后报道了小鼠后趾 FLRs 存在性差. 但是 Bailey 等^[27]对 8 个近交系试验小鼠的 FLRs 进行观察, 结果显示 $2D : 4D$ 并不存在性差. Burley 等^[28]报道了至少有两种鸟类、斑胸草雀、麻雀和野鸡的 FLRs 存在性差. 赵大鹏等^[29]对石松鼠(Sciurotamias davidianus)的 FLRs 性差进行研究, 结果发现石松鼠的 $2D : 4D$ 没有性差, 表明野生石松鼠的 $2D : 4D$ 可能没有 PAE.

此外, Chang 等^[30]指出在爬行动物中有 3 个物种的 FLRs 存在性差. 他们认为两栖动物、爬行动物和鸟类的 $2D : 4D$ 往往有更大的相似性. 一般是雄性的 $2D : 4D$ 值大于雌性. 但是, 在哺乳动物常常是雄性的 $2D : 4D$ 值小于雌性.

两栖类的 FLRs 研究资料很少, Chang 等^[31]在一项青蛙(the Strawberry poison dart frog)的研究中发现, 雄性后肢的 $2D : 4D$ 明显高于雌性. Drenzo 等^[32]也发现另外两个青蛙品种(Strawberry poison frog Bransford's robber frog)雄性前肢的 $2D : 4D$ 较高. 推测进化水平较高的哺乳动物可能存在 FLRs 性差模式, 但是这个性差模式是否适用较为低等的两栖类动物还不很清楚.

本课题组最近一项研究表明, 大蹄蝠的 FLRs 性差显著, 其中 $3D : 5D$ 的性差最大. (雄: $3D : 5D = 1.573$, 雌: $3D : 5D = 1.636$, $F = 16.36$, $P < 0.001$). 其他一些蝙蝠(如, 果树蹄蝠、大鼠耳蝠)的 FLRs 性差没有统计学意义($P > 0.05$), 不同种群之间产生差异的原因目前还不清楚(未发表数据).

3 研究意义

3.1 FLRs 与生长发育

由于FLRs在早期胚胎形成过程中就已经确定,在个体出生后生长过程中一般不再发生变化,故FLRs可以作为研究个体形态发育身体健康状况的一个重要参数^[1]。

3.2 FLRs与基因调节

研究表明,个体的FLRs形成,生殖泌尿系统的分化以及中枢神经系统的分化等都与Hox基因相关。Hox基因是一组高度保守的转录因子家族,在灵长类和其他一些哺乳动物体内普遍存在。该基因如果发生突变,对灵长类动物的手、足、生殖系统和中枢神经系统的发育产生非常重要的影响^[28]。例如,人类的Hoxd13基因如果表达异常,会导致尿道口异位、子宫分离、食指拇指畸形和生殖器畸形等^[30]。还有资料报道FLRs与灵长类相对睾丸大小和精子数量的变化有关^[15]。

最近研究提出FLRs可以作为PAE的生物标志物之一。非人灵长类与人类一样,FLRs较低的个体说明在生长发育早期经历了较高的PAE。

3.3 FLRs与行为

一些研究提示PAE可能参与促进类人猿物种特有的社会行为。猕猴2D:4D均值(0.824)明显低于长臂猿(1.065)和猩猩(0.917),也明显低于人类(0.966)^[4]。解释这一差异的主要原因是物种间的差异,包括系统演化、早期发育、分类地位、进化程度、社会行为和种群结构等。Roney等^[22]报道了狒狒的FLRs。雄性2D:4D均值为0.88,雌性2D:4D的为0.83,指出雄性狒狒的2D:4D与血清睾酮水平呈明显的负相关。Nelson等指出在整个灵长类猴科动物有较低和相对稳定的2D:4D,这一比值主要与稳定的种群结构、社会关系和种内性选择竞争水平有关^[4]。一般说来,社会系统相对稳定,配偶相对固定,群体内相处和谐,他们的FLRs相对较高;而社会系统不稳定,个体之间极具攻击性,乱交或一夫多妻制社会,他们的FLRs相对较低。Nelson等^[5]还指出即使在同一物种内FLRs模式也会存在差异。解释这种差异的主要原因是由于物种特有社会行为和发育受到PAE的调节。FLRs和整个社会系统之间存在一定的对应关系。McIntyre等研究结果显示倭黑猩猩与黑猩猩虽然是同一物种,但是由于他们的社会行为、交配制度有很大的区别,所以与倭黑猩猩相比黑猩猩具有较低的2D:4D。这一结果被解释为黑猩猩种内具有更强的竞争性,而倭黑猩猩种内具有更加宽容和谐的社会关系^[23]。本课题组研究结果显示猕猴FLRs没有性差。提示人类与非人灵长类的2D:4D的模式存在一定差异^[24]。

3.4 FLRs替代研究

哺乳动物动物作为主要的实验动物,常常作为“人的替身”代替人类去承受各种动物实验,有些实验甚至是非常危险和致命的,如致癌、致突变和致畸实验等。尤其是非人灵长类动物从解剖结构、生理生化、进化程度和新陈代谢等方面比其他哺乳动物犬和小鼠更接近人类。在生物医学、考古学和体质人类学有较大的应用价值,始终受到广大学者的重视。Maning等^[3]就提出只有通过哺乳动物试验才能证明成年时期的FLRs是否存在PAE,是否FLRs可以作为PAE的一个生物学标志。

Maning等^[25]提出啮齿类很有可能成为FLRs与PAE研究的一个标准模型,因为很多试验是不可能在人身上进行。

3.5 FLRs不对称研究

Manning^[3]发现人类的FLRs在两侧是不对称的,特别是男性右手比左手具有更低的2D:4D。他们推测这可能是由于早期发育时两侧雄激素的敏感性不同。然而,这种FLRs侧别不对称的产生原因和生理机制尚不清楚。

Lilly^[34]发现田鼠的2D:4D具有明显的不对称性。目前还不清楚他的生物学意义和产生机制。如果这种不对称真实存在的话,会增加人们继续研究的信心。这一事实可能表明个体在发育中两侧可能遭遇到的压力不同。

在太行山猕猴FLRs的研究中,并没有发现两侧的FLRs存在差异^[24]。与Robertson^[35]在一个白种人的大样本(3172例)得到的结果相似。

3.6 研究方法比较

指长比的测量方法很多,最常见的是骨骼直接测量法^[35]、手指测量法^[2]、X射线测量法^[36]和CT扫描法等^[37]。很明显不同的测量方法结果是不一样的。Eshak等^[38]用CT扫描方法对埃及人掌指骨长度进行研究,

结果显示 CT 扫描得到的结果小于 Morsi 用 X 射线测量得到的结果. Morsi 解释这些差异的主要原因是选择变量不同和测量方法不同所致^[37]. 研究结果提示采用不同的测量方法进行 FLRs 比较时应该谨慎. 一般来说,骨骼直接测量较为常用且快捷准确,但难以留下记录最近有不少资料报道了 X 射线和 CT 扫描方法来研究 FLRs,但是目前主要应用于人类,在哺乳动物中应用较少,成本较高. 一般来说 X 射线的 FLRs 值低于直接测量法. 直接测量手指长度,可能会受到软组织厚度的影响,使得测量结果不同^[39].

4 展望

通过建立 FLRs 动物模型进一步探讨 PAE 与 FLRs 的联系,探讨 HOX 基因调控机制;基因突变与 FLRs 的对应关系.

非人灵长类动物和其他哺乳动物的 FLRs 研究进一步扩展和深入;从 2D:4D 研究扩展到其他 FLRs 研究.

进一步明确 FLRs 的意义和作用;在灵长类动物和等方面的研究较少,对古人类或古猿化石研究更少,与国外同领域的相关研究存在一定差异. 有待进一步去探索和研究.

参 考 文 献

- [1] 陆 宏,霍正浩. 人类指长比的研究进展[J]. 生命科学,2006,18(5):487-491.
- [2] 席焕久,赵 红,李文慧,等. 对指长比研究现状的初步分析[J]. 解剖学报,2012,43(4):569-571.
- [3] Manning J T, Scutt D, Wilson J, et al. The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen[J]. Human Reproduction,1998,13(11):3000-3004.
- [4] Nelson E, Susanne S. Finger length ratios (2D:4D) in anthropoids implicate reduced prenatal androgens in social bonding[J]. American Journal of Physical Anthropology,2010,141(3):395-405.
- [5] Nelson E. Heritability of digit ratio (2D:4D) in rhesus macaques (*Macaca mulatta*)[J]. Primates,2010,51(1):1-5.
- [6] Nelson E, Hoffman L, Gerald S, et al. Digit ratio (2D:4D) and dominance rank in female rhesus macaques (*Macaca mulatta*)[J]. Behavioral Ecology and Sociobiology,2010,64(6):1001-1009.
- [7] 赵晓进,王训练,党晓云,等. 太行山猕猴掌骨和跖骨长度比率的性别差异[J]. 解剖学报,2009,40(6):1001-1004.
- [8] 赵晓进,赵俊杰,王耿,等. 太行山猕猴掌骨和跖骨长度变量性别判别[J]. 人类学学报,2009,28(1):88-94.
- [9] 赵晓进,王令帅,孙西魁,等. 猕猴掌骨长比、性差与活动强度的关系研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2012,40(5):145-148.
- [10] Ecker A. Einige bemerkungen uber einen schwankenden charakter in den hand des menschen[J]. Archives fur Anthropologie (Braunschweig),1875,(8):67-75.
- [11] Schultz A H. Growth studies on primates bearing upon man's evolution[J]. American Journal of Physical Anthropology,1924,7:149-164.
- [12] Sorell W. The Story of the human hand[M]. London:Weidenfeld and Nicholson,1968.
- [13] Falk D, Pyne L, Helmkamp R C et al. Directional asymmetry in the forelimb of *Macaca mulatta*[J]. American Journal of Physical Anthropology,1988,77:1-6.
- [14] Patton J T, Kaufman M H. The timing of ossification of the limb bones, and growth rates of various long bones of the fore and hind limbs of the prenatal and early postnatal laboratory mouse[J]. Journal of anatomy,1995,186(1):175-185.
- [15] Kondo T, Zakany J, Innis J W, et al. Of fingers, toes and penises[J]. Nature,1997,390:29.
- [16] Williams T J, Pepitone M E, Christensen S E, et al. Finger-length ratios and sexual orientation[J]. Nature,2000,404(6777):455-456.
- [17] McGrew W C, Marchant L E. Ethological study of manual laterality in the chimpanzees of the Mahale Mountains, Tanzania[J]. Behaviour,2001,138(3):329-358.
- [18] McFadden D, Bracht S. Sex differences in the relative lengths of metacarpals and metatarsals[J]. Hormones and Behavior,2005,47(1):99-111.
- [19] McFadden D, Bracht S. The relative lengths and weights of metacarpals and metatarsals in baboons (*papio hamadryas*). Hormones and Behavior,2003,43(2):347-355.
- [20] McFadden D, Shubel E, Shubel. Relative lengths of fingers and toes in human males and females. Hormones and Behavior,2002,42(4):492-500.
- [21] 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.
- [22] Roney R, Whitham C, Marco L. Relative digit lengths and testosterone levels in Guinea baboons[J]. Hormones and Behavior,2004,45

- (4);285-290.
- [23] McIntyre M H, Herrmann E, Wobber V, et al. Bonobos have a more human-like second-to-fourth finger length ratio (2D : 4D) than chimpanzees: a hypothesized indication of lower prenatal androgens[J]. *Journal of Human Evolution*, 2009, 56: 361-365.
- [24] 赵晓进, 田华香, 胡海洋, 等. 太行山猕猴指(趾)长比性差[J]. *解剖学报*, 2015, 46(5): 673-678.
- [25] Manning J T. The ratio of 2nd to 4th digit length and performance in skiing[J]. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2002, 42(4): 446-450.
- [26] Brown W M, Finn C J, Breedlove S M. Sexual dimorphism in digit length ratios of laboratory mice. *The Anatomical Record*, 2002, 267, 231-234.
- [27] Bailey A A, Wahisten D, Hurd P L. Digit ratio (2D : 4D) and behavioral differences between inbred mouse strains[J]. *Genes Brain Behav*, 2005, 4: 318-323.
- [28] Burley N T, Foster V S. Digit ratio varies with sex, egg order and strength of mate preference in zebra finches[J]. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 2003, 271: 239-244.
- [29] Zhao D P, Chen Z Y, Li B G. Sex differences in anogenital distances and digit ratios in wild David's rock squirrels *Sciurotamias davidianus*[J]. *Current Zoology*, 2014, 60(2): 180-185.
- [30] Chang J L, Doughty S, Wade J, et al. Sexual dimorphism in the second-to-fourth digit length ratio in green anoles, *Anolis carolinensis* (Squamata: Polychrotidae), from southeastern United States[J]. *Canadian Journal of Zoology*, 2006, 4: 1489-1494.
- [31] Chang J L. Sexual dimorphism of second-to-fourth digit length ratio (2D : 4D) in the Strawberry poison dart frog *Oophaga pumilio* in Costa Rica[J]. *Journal of Herpetology*, 2008, 42: 414-416.
- [32] Direnzo G V, Stynoski J L. Patterns of Second-to-Fourth Digit Length Ratios (2D : 4D) in Two Species of Frogs and Two Species of Lizards at La Selva, Costa Rica[J]. *The Anatomical Record*, 2012, 295: 597-603.
- [33] Goodman F R, Scambler P J. Human HOX gene mutations[J]. *Clinical Genetics*, 2001, 59(1): 1-11.
- [34] Lilley T, Laaksonen T, Huitu O, et al. Digit length ratio (2D/4D): comparing measurements from X-rays and photographs in field voles (*Microtus agrestis*) [J]. *Behavioral Ecology & Sociobiology*, 2009, 63: 1539-1547.
- [35] Robertson J, Zhang W, Liu J J, et al. Radiographic assessment of the index to ring finger ratio (2D : 4D) in adults[J]. *Journal of anatomy*, 2008, 212: 42-48.
- [36] Patel A. Functional morphology of cercopithecoid primate metacarpals[J]. *Journal of Human Evolution*, 2010, 58(4): 320-337.
- [37] Morsi E I, Hawary A I. Sex determination by the length of metacarpals and phalanges: X-ray study on Egyptian population[J]. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 2013, 20(1): 6-13.
- [38] Eshak G A, Ahmed H M, Gawad Abdel E A M. Gender determination from hand bones length and volume using multidetector computed tomography: A study in Egyptian people[J]. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 2011, 18: 246-252.
- [39] Vehmas T, Solovieva S, Leino-Arjas P. Radiographic 2D : 4D index in females: no relation to anthropometric, behavioural, nutritional, health-related, occupational or fertility variables[J]. *Journal of Negative Results in BioMedicine*, 2006, 5: 12-18.

Current Studies on Finger Length Ratio Research in Animals

ZHAO Xiaojin^{1a}, WANG Fengchan^{1a}, DU Tian^{1a}, ZHAI Pengfei^{1b}, WANG Waiwai², TIAN Huaxiang^{1a}

(1. a. College of Fisheries; b. College of Physical Education, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. The School of Computer Science, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The finger length ratios (FLRs) are the ratios of finger (toe) length of the human or animal. It have been suggested by some scientists that the ratio of two digits in particular, 2D : 4D (index finger: ring finger), is proposed as a bio-marker reflecting prenatal androgen effects (PAE). In recent decades the study of human FLRs were developed rapidly at a broad. It has been involved in the regulation of genes, handedness, heart disease, breast cancer, personality traits, asymmetry, athletic ability, autism and so on. Further, FLRs sex differences can be found in other mammals such as the mouse, baboon, gorilla and chimpanzee, as well as the zebra finch. This paper does a review of these studies in animals.

Keywords: finger length ratio; prenatal androgen effect; animal