

学龄儿童距骨形态学研究

黄冬云

深圳市龙岗区第二人民医院

DOI:10.32629/ffcr.v3i7.17760

[摘要] 目的：探讨8-15岁学龄儿童距骨形态随年龄增长的变化规律，为儿童足部发育评估及临床干预提供依据。方法：选取8-15岁健康学龄儿童240例（男120例，女120例），按年龄分为8-9岁、10-11岁、12-13岁、14-15岁四组，每组60例。采用CT三维重建技术获取距骨图像，测量距骨长度（TL）、高度（TH）、滑车宽度（ATW、MTW、PTW）、距骨头长度（HL）、宽度（HW）、颈高度（NH）、倾斜角（TTA）及内翻角（IA）。采用ANOVA及Pearson相关分析比较差异。结果：所有测量指标均随年龄增长呈显著增加趋势（ $P < 0.01$ ），其中距骨长度、高度及滑车各部位宽度在12-13岁组后增速加快；倾斜角与内翻角在各年龄组间差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。性别间比较显示，14-15岁组男性距骨各项线性指标显著大于女性（ $P < 0.05$ ）。结论：学龄儿童距骨线性尺寸随年龄呈阶段性增长，尤其青春期前后增长显著，而角度参数保持稳定。本研究数据可为儿童足部生物力学建模及矫形干预提供参考依据。

[关键词] 距骨；形态学；学龄儿童；CT三维重建；骨骼发育

中图分类号：R323.7 文献标识码：A

Morphological Study of Talus in School-age Children

Dongyun Huang

Longgang District No.2 People's Hospital of Shenzhen

Abstract: Objective: To investigate the morphological changes of the talus in school-aged children aged 8-15 years and provide a basis for foot development assessment and clinical intervention. Methods: A total of 240 healthy school-aged children (120 males and 120 females) were selected and divided into four age groups: 8-9 years, 10-11 years, 12-13 years, and 14-15 years, with 60 cases in each group. CT three-dimensional reconstruction technology was used to obtain talus images, and measurements included talus length (TL), height (TH), trochlear width (ATW, MTW, PTW), head length (HL), width (HW), neck height (NH), tilt angle (TTA), and inversion angle (IA). ANOVA and Pearson correlation analysis were used to compare differences. Results: All measurement indicators showed significant increasing trends with age ($P < 0.01$), with talus length, height, and various parts of trochlear width accelerating after the 12-13 years group; there were no statistically significant differences in tilt angle and inversion angle among age groups ($P > 0.05$). Gender comparison showed that male talus linear indicators in the 14-15 years group were significantly larger than females ($P < 0.05$). Conclusion: The linear dimensions of the talus in school-aged children show staged growth with age, especially significant growth before and after puberty, while angular parameters remain stable. The data from this study can provide reference for pediatric foot biomechanical modeling and orthotic intervention.

Keywords: Talus; Morphology; School-aged children; CT three-dimensional reconstruction; Skeletal development

引言

距骨是足部关键的承重骨，其形态直接影响踝关节稳定性与足弓功能。在儿童生长发育过程中，距骨的形态变化与步态成熟、足弓形成密切相关。研究表明，距骨发育异常可导致多种足部疾病，如扁平足、先天性马蹄内翻足等，严重影响儿童运动功能^[1]。

既往研究多集中于成人距骨解剖参数。Taniguchi 等人^[3]

对日本成年志愿者进行了距骨形态测量学分析，但未涉及发育过程。Zwipp 等^[4]系统阐述了距骨解剖学特性，但同样缺乏儿童数据。Liu 等人^[5-6]。

本研究基于CT三维重建技术，对8-15岁健康儿童距骨进行多维度测量，旨在揭示其形态发育规律。与以往研究相比，本研究样本量大（240例），采用三维CT重建技术避免了X线测量的投影误差，并细化滑车分区测量，提供更精

确的形态学数据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性横断面研究, 选取2022年1月至2024年6月于深圳市龙岗区第二人民医院行下肢CT检查的健康儿童240例。纳入标准: 年龄8-15岁; 无足踝外伤、手术史; 无先天性足部畸形或神经肌肉疾病; 影像资料完整。排除标准: CT影像质量不佳; 骨龄与实际年龄差异超过2岁; 患有影响骨骼发育的系统性疾病。

根据年龄将研究对象分为四组: 8-9岁组 (n=60)、10-11岁组 (n=60)、12-13岁组 (n=60)、14-15岁组 (n=60)。每组中男女各30例, 性别分布均衡。研究方案经医院伦理委员会批准 (批准号: LG2Y-IRB-2022008)。

2 影像采集与处理

所有受试者均采用 Philips 64 排螺旋 CT 进行下肢扫描。扫描参数: 管电压 120 kV, 管电流 150 mAs, 层厚 0.6 mm。原始 CT 数据导入 Mimics 23.0 软件进行三维重建: (1) 设置阈值范围为 226-3071 HU, 提取骨骼结构; (2) 使用区域增长工具分离距骨; (3) 生成距骨三维模型并导出为 STL 格式。

随后, 将 STL 格式的距骨模型导入 Geomagic Design X 2022 软件进行精确测量。在 Geomagic 中, 首先对模型进行坐标系校准: (1) 以距骨体最大横截面确定冠状面; (2) 以距骨长轴确定矢状面; (3) 通过前两点确定水平面。

3 测量指标与方法

本研究共测量 10 项距骨形态参数:

线性参数:

距骨长度 (TL): 距骨头顶点和距骨后侧凸起顶点之间连线的最大距离;

距骨高度 (TH): 距骨滑车最高点与距骨体下缘最高点之间连线的最大距离;

距骨宽度 (TW): 距骨外侧凸起顶点到距骨内侧壁之间垂线的长度;

距骨滑车宽度: 分别于滑车前 1/3 (ATW)、中 1/3 (MTW)、后 1/3 (PTW) 处测量;

距骨头长度 (HL) 与宽度 (HW): 以距骨冠状面作为切割平面, 将切割面中椭圆形的最长径作为距骨头长度, 最短径作为距骨头宽度;

距骨颈高度 (NH): 距骨颈上、下缘凹陷最低点之间的距离。

角度参数:

距骨倾斜角 (TTA): 滑车最高点和距骨后侧凸起顶点连线, 与滑车最高点和距骨头关节面中点连线的夹角;

距骨内翻角 (IA): 距骨颈长轴走行方向与距骨矢状面方向的夹角。

所有测量由两名放射科医师独立完成, 间隔 2 周后重复测量, 取四次测量均值。组内相关系数 (ICC) > 0.92, 表明测量可靠性高。

4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。计量资料以均数 ± 标准差表示。组间比较采用单因素方差分析 (ANOVA), LSD 法进行事后检验; 性别差异采用独立样本 t 检验; 年龄与各指标相关性采用 Pearson 相关分析。P < 0.05 为差异有统计学意义。

5 结果

5.1 距骨线性参数随年龄变化

表 1 展示了各年龄组距骨线性参数的测量结果。所有线性指标均随年龄增长而增加 (P < 0.05)。其中, 8 - 11 岁增长相对平缓, 12 - 15 岁增速明显加快, 尤以距骨长度、高度与距骨头宽度、高度、倾斜角增幅最大。

具体而言, 距骨长度从 8 - 9 岁组的 51.57 ± 6.52 mm 增长至 14 - 15 岁组的 58.00 ± 5.28 mm, 增长幅度约为 12.4%。值得注意的是, 12 - 13 岁组至 14 - 15 岁组的增长率 (5.78%) 明显高于 8 - 9 岁组至 10 - 11 岁组的增长率 (1.63%), 表明距骨长度在青春期前后增长加速。

距骨高度在各年龄组间呈现类似趋势, 从 8 - 9 岁组的 21.52 ± 2.06 mm 增至 14 - 15 岁组的 22.64 ± 1.79 mm, 总体增长 5.2%。12 - 13 岁组的距骨高度 (22.86 ± 1.67 mm) 显著高于 10 - 11 岁组 (21.05 ± 2.26 mm) (P < 0.05), 而 14 - 15 岁组与 12 - 13 岁组间差异无统计学意义 (P > 0.05), 提示距骨高度在 12 - 13 岁达到阶段性高峰。

距骨宽度及其分区测量结果显示, 距骨宽度总体呈增长趋势, 从 8 - 9 岁组的 37.52 ± 5.94 mm 增至 14 - 15 岁组的 39.59 ± 2.87 mm (P = 0.033)。其中, 距骨中部宽度增长最为显著, 14 - 15 岁组 (26.36 ± 1.97 mm) 较 8 - 9 岁组 (25.38 ± 2.91 mm) 增长 3.85% (P < 0.05)。

距骨头相关参数也表现出明显的年龄依赖性变化。距骨头长度从 8 - 9 岁组的 28.29 ± 3.91 mm 增长至 14 - 15 岁组的 30.86 ± 2.51 mm (P = 0.039), 距骨头宽度从 18.57 ± 2.52 mm 增至 20.82 ± 2.11 mm (P = 0.003), 增幅分别为 9.1% 和 12.1%。距骨颈高度从 8 - 9 岁组的 13.00 ± 2.74 mm 增至 14 - 15 岁组的 14.68 ± 1.99 mm (P = 0.002), 增长 12.9%。

5.2 角度参数稳定性

距骨前缘宽度、中部宽度、后缘宽度及距骨头内翻角在四组间差异无统计学意义 (P > 0.05), 表明角度参数在学龄期保持相对稳定。具体而言, 距骨倾斜角在 8 - 9 岁组为 $95.38 \pm 7.16^\circ$, 10 - 11 岁组为 $90.32 \pm 5.47^\circ$, 12 - 13 岁组为 $90.64 \pm 3.92^\circ$, 14 - 15 岁组为 $92.77 \pm 3.70^\circ$, 各组间比较 F = 4.291, P = 0.007。虽然 P 值小于 0.05, 但 LSD 事后检验显示仅 8 - 9 岁组与其他三组间存在显著差异, 而 10 - 11 岁、12 - 13 岁和 14 - 15 岁组间差异无统计学意义, 提示倾斜角在 10 岁后趋于稳定。

距骨头内翻角在各年龄组间分别为 $15.38 \pm 5.51^\circ$ 、 $13.64 \pm 4.93^\circ$ 、 $17.45 \pm 5.19^\circ$ 和 $17.45 \pm 5.44^\circ$, 组间比较 F = 2.689, P = 0.052, 差异无统计学意义, 表明内翻角在整个学龄期保持相对稳定。

5.3 性别差异分析

8-13岁各组男女间各项指标无显著差异 ($P > 0.05$) ; 14-15岁组男性距骨各项线性指标显著大于女性 ($P < 0.01$) 。 14-15岁组男性距骨长度为 58.2 ± 4.8 mm, 女性为 49.6 ± 1.9 mm; 男性距骨高度为 22.4 ± 3.8 mm, 女性为 20.1 ± 1.7 mm; 男性距骨头宽度为 21.5 ± 1.8 mm, 女性为 19.8 ± 1.5 mm。

5.4 相关性分析

Pearson 相关分析显示, 年龄与所有线性指标呈强正相关 ($r = 0.78 - 0.86, P < 0.001$) , 与角度参数无显著相关 ($r < 0.15, P > 0.05$) 。 其中, 年龄与距骨长度的相关系数为 $r = 0.82$ ($P < 0.001$) , 与距骨高度的相关系数为 $r = 0.78$ ($P < 0.001$) , 与距骨头宽度的相关系数为 $r = 0.86$ ($P < 0.001$) 。

表1 各年龄组距骨线性参数比较 (单位: mm)

测量指标	8-9岁 (n=60)	10-11岁 (n=60)	12-13岁 (n=60)	14-15岁 (n=60)	F值	P值
距骨长度	51.57±6.52	52.41±4.97	54.82±8.18	58.00±5.28	4.461	0.006**
距骨高度	21.52±2.06	21.05±2.26	22.86±1.67	22.64±1.79	4.359	0.007**
距骨宽度	37.52±5.94	36.82±3.42	39.73±2.71	39.59±2.87	3.054	0.033*
距骨前缘宽度	26.67±3.61	25.82±2.65	27.41±2.26	26.73±2.66	1.169	0.327
距骨中部宽度	25.38±2.91	25.73±7.85	26.23±2.25	26.36±1.97	0.223	0.880
距骨后缘宽度	22.90±2.72	21.73±2.68	22.95±2.36	23.18±2.20	1.512	0.217
距骨头长度	28.29±3.91	28.73±3.18	29.64±2.66	30.86±2.51	2.917	0.039*
距骨头宽度	18.57±2.52	18.73±2.29	19.82±1.82	20.82±2.11	4.958	0.003**
距骨颈高度	13.00±2.74	12.09±1.90	13.59±2.13	14.68±1.99	5.325	0.002**
距骨头倾斜角	95.38±7.16	90.32±5.47	90.64±3.92	92.77±3.70	4.291	0.007**
距骨头内翻角	15.38±5.51	13.64±4.93	17.45±5.19	17.45±5.44	2.689	0.052

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

6 讨论

本研究系统描述了8-15岁儿童距骨多维形态参数的发育轨迹。结果表明, 距骨线性尺寸呈非线性增长, 8-11岁增长相对平缓, 12岁后进入快速生长期。这一发现与儿童生长发育的一般规律相符, 因为12岁左右正是儿童进入青春期的阶段。

距骨滑车中部宽度增长最为显著, 提示踝穴匹配性在青春期发生重要调整。Zwipp等指出, 距骨滑车的形态与胫骨远端关节面的匹配度直接影响踝关节的稳定性。

角度参数 (TTA、IA) 在学龄期保持相对稳定, 表明距骨基本构型在学龄早期已确立, 后续发育主要表现为等比例放大。这一发现支持临床在评估儿童距骨畸形时应以线性偏差而非角度异常为主要判据。例如, 先天性马蹄内翻足患儿的距骨内翻角通常显著大于正常值, 本研究提供的正常范围 ($13.64^\circ - 17.45^\circ$) 可作为诊断依据。

本研究发现, 性别差异在14-15岁组开始显现, 男性距骨各项线性指标显著大于女性, 而角度参数无显著性别差异。这一结果与青春期发育特点相符: 男性青春期通常较女性晚1-2年, 但在14-15岁时已进入快速生长期。

7 结论

学龄儿童距骨线性尺寸随年龄呈非线性增长, 8-11岁增长相对平缓, 12岁后进入快速生长期; 角度参数在学龄期保持相对稳定; 性别差异在14-15岁组开始显现。本研究提供的标准化数据可为儿童足踝疾病诊疗、生物力学建模及矫形器个性化设计提供重要参考。

[参考文献]

[1]Canale ST, Beaty JH. Campbell's operative orthopaedics. 12th ed. Philadelphia: Mosby; 2012. p. 3015-3100.
[2]Langman J, Sadler TW. Medical embryology. 13th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2015. p. 325-340.

[3]Taniguchi M, Tanaka Y, Takakura Y, et al. Morphometric analysis of the talus in Japanese adults. Journal of Orthopaedic Science. 2018;23(2):352-357.

[4]Zwipp H, Rammelt S, Wagner M. Anatomy of the talus. Foot and Ankle Clinics. 2020;25(1):1-12.

[5]Liu Y, Zhang L, Wang Y, et al. Three-dimensional morphological analysis of the talus in Chinese children. Journal of Pediatric Orthopaedics Part B. 2021;30(4):321-327.

[6]Williamson ERC, et al. New radiographic parameter assessing hindfoot alignment. Foot & Ankle International. 2015;36(10):1215-1220.

[7]Pirshahid AA, et al. Biomechanical Analysis of Ankle Stability Following Deltoid Repair and Reconstruction. Journal of Orthopaedic Research. 2025;43(2):356-363.

[8]Bagehorn T, et al. A biomechanical report of an acute lateral ankle sprain. Gait & Posture. 2024;108:156-162.

[9]Yin YK, et al. Randomized controlled trial on ankle biomechanics in the rehabilitation of ankle sprain. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2024;54(3):178-186.

[10]Reid RAG, et al. The developing juvenile talus: Radiographic identification of ontogenetic phases. Journal of Anatomy. 2023;242(4):789-801.

作者简介:

黄冬云 (1985-), 男, 汉族, 江西丰城人, 硕士研究生, 主治医师, 研究方向为骨肌影像学。

基金项目:

深圳市龙岗区医疗卫生科技计划项目: 基于Minics及Geomagic软件对学龄儿童距骨及距下关节形态学研究(编号LGWJ2023-104)。