

儿童足型分类方法的系统综述

<https://doi.org/10.12307/2022.524>汤运启¹, 邹灵秋¹, 李毅², 王志康¹, 惠雪¹, 李灵君¹, 郭新宇¹

投稿日期: 2021-03-06

送审日期: 2021-03-08

采用日期: 2021-03-31

在线日期: 2021-10-25

中图分类号:

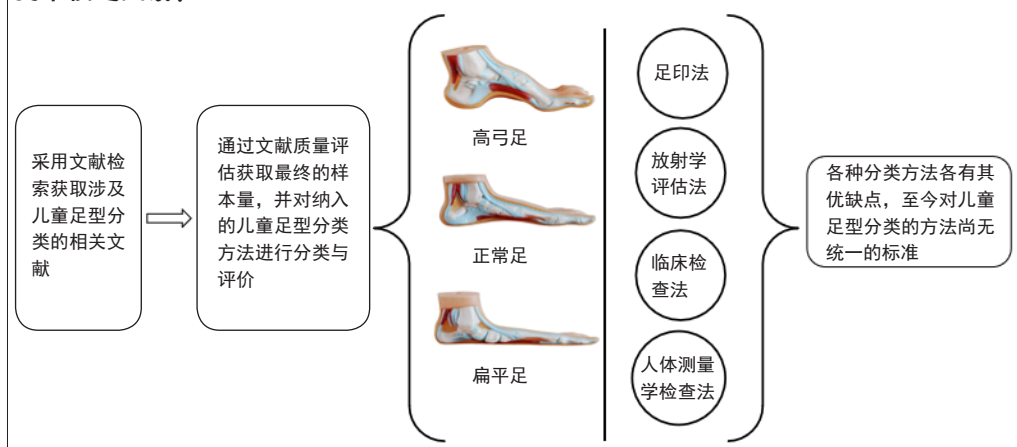
R452; R319; R726

文章编号:

2095-4344(2022)12-01963-06

文献标识码: A

文章快速阅读:



文题释义:

扁平足: 是足部畸形的一种, 在解剖学层面上是足内侧纵弓的塌陷或消失, 且伴随着跟骨外翻和距骨下沉, 是3种主要的足型之一。扁平足通常分为柔性和僵硬性扁平足, 柔性扁平足在负重状态下足内侧纵弓塌陷或消失, 在非负重状态下恢复为正常足弓; 僵硬性扁平足在负重和非负重状态下足内侧纵弓都处于塌陷或消失状态。

高弓足: 是3种主要足型之一, 指足内侧纵弓异常增高为主要改变的足部畸形。高弓足通常分为先天性和后天性高弓足, 先天性高弓足指受到遗传因素所造成的高足弓症状; 后天性高弓足是由于一些病理原因或意外损伤等因素所造成的高足弓症状。

摘要

目的: 非正常足型的发展会对儿童的生长和生活带来不利的影响, 儿童非正常足型的早期诊断有利于对儿童足型的及时矫正。文章对文献中儿童足型分类的方法进行总结与回顾, 以期对临床医生在儿童非正常足型的预防与矫正策略的研究上提供有价值的参考信息。

方法: 在万方、维普、中国知网、Web of Science和PubMed数据库中对儿童足型分类的相关文献进行检索, 并对儿童足型分类的方法进行分类、归纳与系统评价。

结果: ①最终纳入12篇文献, 其中儿童足型分类方法主要包括足印指数法、放射学评估法、临床检查法和人体测量学检查法共4种; ②各种分类方法的优缺点: 足印法简单快捷, 但测量结果具有片面性; 放射学评估法具有潜在的辐射风险, 且成本高、流程复杂; 临床检查法虽快捷、成本低, 但具有较强的主观性; 人体测量学检查法虽然较为准确, 但耗时较长; ③在以往研究中, 研究人员大多数选择经济快捷的足印法作为儿童足型的分类方法, 且部分研究采用多种指标相结合的方式以提高儿童足型分类的准确性; ④目前较为准确的儿童足型的分类方法就是采用多种指标相结合的方式。

结论: 目前儿童足型的分类缺乏金标准, 多数足型分类方法仅显示足部静态的结构特征, 未来的研究需建立静态足部结构和动态足部功能之间的关系, 以增加儿童足型分类结果的准确性和科学性, 从而在儿童骨骺闭合年龄结束前对儿童足部的健康成长和发育提供良好的策略。

关键词: 足型分类; 儿童; 足印指数法; 放射学评估法; 临床检查法; 人体测量学检查法

A systematic review of children's foot type classification methods

Tang Yunqi¹, Zou Lingqiu¹, Li Yi², Wang Zhikang¹, Hui Xue¹, Li Lingjun¹, Guo Xinyu¹

¹College of Art and Design, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, Shaanxi Province, China; ²Department of Foot and Ankle Surgery, Honghui Hospital Affiliated to Medical College of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China

Tang Yunqi, MD, Associate professor, College of Art and Design, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, Shaanxi Province, China

Corresponding author: Li Yi, MD, Chief physician, Department of Foot and Ankle Surgery, Honghui Hospital Affiliated to Medical College of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China

¹陕西科技大学设计与艺术学院, 陕西省西安市 710021; ²西安交通大学附属红会医院足踝外科诊疗中心, 陕西省西安市 710054

第一作者: 汤运启, 男, 1980年生, 河南省商丘市人, 汉族, 2021年上海体育学院毕业, 博士, 副教授。

通讯作者: 李毅, 博士, 主任医师, 西安交通大学附属红会医院足踝外科诊疗中心, 陕西省西安市 710054

<https://orcid.org/0000-0001-6696-0934> (汤运启); <https://orcid.org/0000-0002-2839-4078> (李毅)

基金资助: 陕西省教育厅重点科研项目(21JY002), 项目负责人: 汤运启; 西安市科技局计划项目[SF1512(2)], 项目负责人:

李毅; 陕西省社会发展科技攻关项目(2016SF-333), 项目负责人: 李毅

引用本文: 汤运启, 邹灵秋, 李毅, 王志康, 惠雪, 李灵君, 郭新宇. 儿童足型分类方法的系统综述 [J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(12):1963-1968.



Abstract

OBJECTIVE: The development of abnormal foot will bring adverse effects on the growth and life of children. The early diagnosis of abnormal foot in children is conducive to the timely correction of children's foot. Here, we review the classification methods of children's foot types in order to provide valuable references for clinicians in the study of prevention and correction strategies of children's abnormal foot types.

METHODS: WanFang, VIP, CNKI, the Web of Science, and PubMed were searched for related literatures on the classification of children's foot, and the methods for the classification of children's foot types were summarized and systematically reviewed.

RESULTS: (1)A total of 12 articles were finally included. The classification of children's foot types can be divided into four methods: footprint index, radiological assessment, clinical examination, and anthropometric examination. (2)Each classification method has its own advantages and disadvantages. The footprint method is simple and quick, but the measurement results are one-sided. Radiological assessment method has potential radiation risk, high cost and complicated process. Although clinical examination method is quick and has low cost, it has strong subjectivity. Anthropometric tests are more accurate, but very time-consuming. (3)In the previous studies, the economical and fast foot printing method was selected as the classification method of children's foot type, and a combination of multiple indicators was also used in some studies to improve the accuracy of children's foot type classification. (4)The combination of multiple indicators is currently considered to be a accurate classification method.

CONCLUSION: Most of foot type classification methods, which only display the structural characteristics of children's feet in static state, lack gold standards. Future research needs to establish the relationship between static foot structure and dynamic foot function in order to achieve more accurate and scientific results in the classification of children' foot types, thereby offering a good strategy for the healthy growth and development of children's foot until the age of epiphyseal closure.

Key words: foot type classification; child; footprint index; radiological assessment; clinical examination; anthropometric examination

Funding: the Major Scientific Research Project of Shaanxi Provincial Education Department, No. 21JT002 (to TYQ); a grant from Xi'an Science and Technology Department, No. SF1512(2) (to LY); Shaanxi Provincial Social Development Science and Technology Project, No. 2016SF-333 (to LY)

How to cite this article: TANG YQ, ZOU LQ, LI Y, WANG ZK, HUI X, LI LJ, GUO XY. A systematic review of children's foot type classification methods. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2022;26(12):1963-1968.

0 背景 BACKGROUND

足部结构由骨骼、肌肉、韧带、肌腱、脂肪、血管、神经和皮肤等组织成分构成^[1]。儿童足部在成长过程中由于先天和后天等因素常引起一些足部畸形，其中最常见的是足部畸形常发生在足弓部位^[2]。足弓具有减震和缓冲的作用，足底筋膜等软组织是足内侧足弓形成的必要条件，在正确位置上和维持正常功能的组织对于足弓的稳定性至关重要。人们通常在结构上根据足内侧纵弓高度将足分为高弓足、正常足和扁平足3种类型^[3]。高弓足的主要临床表现为足内侧纵弓异常增高，其患病群体多为3岁以上儿童，而扁平足是指内侧纵弓塌陷^[4]。扁平足在类型上可分为柔性和僵硬性扁平足2种，有48.0%~77.9%儿童在2~16岁时受到柔性扁平足的影响^[5-6]，约1%的儿童受到僵硬性扁平足的影响^[7]。有研究表明，高弓足和扁平足与正常足型相比具有更高的损伤风险^[8]，因此对足型进行准确的分类，有利于对儿童足部畸形的早期识别和诊断。

既往研究中涉及多种足型分类方法，包括X射线评估法、定性和半定量测量、人体测量法和足印分析法等。DORSEY等^[9]研究了跑步者足弓结构与下肢力学的关系，结果表明不同足弓类型与下肢生物力学的联系具有相关性，足弓类型是影响跑步损伤的因素，这与HOLLANDER等^[10]研究中儿童足弓特征与跑步生物力学只有很少联系的结论相矛盾。此外，不同的足型评估方法对儿童非正常足型矫正疗效的评估方面也产

生了不同的结果。WHITFORD等^[11]的研究结果表明使用矫形器不能有效矫正儿童扁平足的过度足旋前，而YOUN等^[12]的研究结果与前者相反，使用足部矫形器对6岁以上儿童足部柔性畸形具有良好的矫正效果。以上研究表明，使用不同的足型分类方法可能是导致研究结果出现矛盾的主要原因^[13]。

目前矫形鞋垫作为一种干预治疗足部畸形的手段越来越受到临床医生和足部矫形师的重视^[14]，该方法具有成本低、无创伤及不良反应小等优势^[15]。足部矫形师会针对不同的足部类型进行相应的畸形矫正，在不破坏足部骨组织的情况下对儿童发育阶段骨组织进行结构上的调整。但足型分类方法众多，目前对于儿童足型的分类尚无统一的标准，这给临床医生和足部矫形师实施精准治疗和提供矫形方案造成一定的困难。

因此，文章的目的是通过对文献中儿童足型分类的方法进行梳理、回顾与总结，分析各种儿童足型分类方法的特点，为临床医生和足部矫形师进行儿童骨骺闭合前非正常足型的预防与矫正策略的选用方面上提供有价值的参考信息。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 文献检索策略

1.1.1 检索者 第一作者。

1.1.2 资料库 中国知网、万方、维普、Web of Science 和 PubMed 数据库。

1.1.3 检索词 中文检索词：“分类、扁平足、高弓足、正常足”；英文检索词：“classification, classify, sort, flat foot, pes planus, high arch, pes cavus, normal foot”。

1.1.4 检索时间范围 检索2001年1月至2020年12月的文献。

1.1.5 数据库检索策略 以PubMed数据库检索策略为例，见图1。

```
#1 classification [Title/Abstract]
#2 classify [Title/Abstract]
#3 sort [Title/Abstract]
#4 #1 OR #2 OR #3
#5 flat foot [Title/Abstract]
#6 pes planus [Title/Abstract]
#7 high arch [Title/Abstract]
#8 pes cavus [Title/Abstract]
#9 normal foot [Title/Abstract]
#10 #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9
#11 #4 AND #10
```

图1 | PubMed 数据库检索策略 Figure 1 | Retrieval strategy for PubMed database

1.2 纳入和排除标准

1.2.1 纳入标准 ①涉及到儿童足型分类方法；②研究类型为横截面研究、病例对照研究和队列研究；③受试者年龄介于0~18岁；④文章类型为期刊论文。

1.2.2 排除标准 ①研究的样本中有神经、肌肉或系统疾病，影响下肢运动的群体；②实验方法不明确或研究方法不明确；③著作、综述性文章、述评、无完整文本及足踝外科术后效果评价。

1.3 资料提取 由2位作者按该研究设计的资料提取表提取相关内容，内容包括研究者、研究类型、出版年份、样本量、受

试者基本信息(年龄、性别)、足型分类方法、足型分类的表征指标。如作者对上述内容产生分歧,则由第3位作者共同参与讨论。

1.4 文献质量评价 对纳入的文献采用佩德罗量表(PEDro)进行偏倚风险的质量评估,该评估条目共计11个,评估内容包括:随机分配、隐藏分配、基线相似性、受试者盲法、治疗师盲法、评定者盲法、意向治疗分析、关键成果、组间比较、点测量和变异测量。不满足评分项目的为零分,满足项目的加1分,最高分为10分。由2名作者独立对纳入文献进行质量评估,如对上述内容产生分歧,则由第3位作者共同参与讨论协商。

1.5 结局指标 ①基线指标主要包括受试者基本信息;②主要结局指标主要包括足印指数法、放射学评估法、临床检查法、人体测量学检查法;③次要结局名称主要包括足型分类方法的表征指标。

2 结果 Results

2.1 文献检索结果 如图2所示,最终纳入12篇文献^[12, 16-26]。

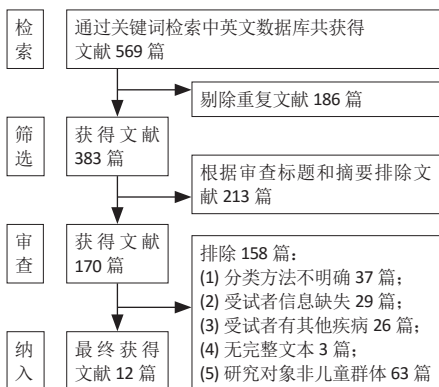


图2 | 文献筛选流程图

Figure 2 | Flow chart of literature screening

2.2 纳入研究的主要特征 最终共计纳入12篇文献,前人对儿童足型分类时大多采用多种分类方法相结合的方式,并不局限于某种特定的方式。因此,在基于前人研究方法的基础上把儿童足型主要归类为以下几种:足印指数法、放射学评估法、临床检查法、人体测量学检查法,见表1。

2.3 文献质量评价结果 纳入12篇文献的佩德罗质量评分基本特征见表2。

有8篇文献的佩德罗质量评估为5分^[12, 16-17, 19-21, 23-24],3篇文献的佩德罗评

表1 | 纳入文献的主要特征

Table 1 | Basic characteristics of the enrolled articles

作者	发表年份	研究类型	样本量(n)	受试者信息	足型分类方法	表征指标
GIJON-NOGUERON等 ^[16]	2020	横截面研究	316	健康儿童,男153例,女163例,6-9岁	足印法	CA
PAUK等 ^[17]	2014	病例对照研究	60	扁平足儿童,9-12岁	足印法	CA
ABOLARIN等 ^[18]	2011	横截面研究	560	健康儿童,城市儿童285例,乡村儿童275例	足印法	中足宽度与跖骨宽度的差异;腰窝足印宽度
NIKOLAIDOU等 ^[19]	2006	横截面研究	132	健康儿童,男67例,女65例,(10.4±0.9)岁	足印法	AI; MKI; CSI; CA
STAVLAS等 ^[20]	2005	横截面研究	5866	健康儿童,男2935例,女2931例,6-17岁	足印法	足印分类法
POURHOSEINGHOLI等 ^[21]	2013	病例对照研究	40	健康/扁平足儿童,男18例,女22例,5-7岁	足印法、临床检查法	AI; FPI
HEGAZY等 ^[22]	2020	横截面研究	612	扁平足儿童,男300例,女312例,6-18岁	放射学评估法	Meary角
CHO等 ^[23]	2019	队列研究	208	健康儿童,男112例,女92例,(10.30±1.95)岁	临床检查法	FPI
YOUN等 ^[12]	2019	队列研究	42	扁平足儿童,男24例,女8例,(9.79±2.67)岁	人体测量学检查法、放射学评估法	静态跟骨站立支撑姿势下跟骨外翻角度;正位距跟角;侧位距跟角;侧位距跟角;跟骨倾斜角
BOK等 ^[24]	2016	横截面研究	21	扁平足儿童,男8例,女13例,(9.9±1.6)岁	放射学评估法、人体测量学检查法	静态跟骨站立支撑姿势下跟骨外翻角度;正位距跟角;外侧距跟角;侧位距跟角;跟骨倾斜角
PFEIFFER等 ^[25]	2006	横截面研究	835	扁平足儿童,男424例,女411例,3-6岁	人体测量学检查法	跟骨外翻角
DREFUS等 ^[26]	2017	横截面研究	30	柔性扁平足儿童,男21例,女9例,6-12岁	人体测量学检查法	静态跟骨站立支撑姿势下跟骨外翻角度与前足相对于后足的位置关系; AHI

表注: FPI为足部姿势指数; AI为足弓指数; MKI为Martirosov's K指数; CSI为Chippaux-Smirak指数; CA为Clarke角; Meary角为距骨-第一跖骨角; AHI为足弓高度指数; PEDro表示佩德罗质量评估

表2 | 佩德罗(PEDro)量表对纳入文献偏倚风险的质量评估

Table 2 | Quality assessment of the risk of bias in the included articles using PEDro

PEDro	GIJON-NOGUERON等 ^[16]	PAUK等 ^[17]	ABOLARIN等 ^[18]	NIKOLAIDOU等 ^[19]	STAVLAS等 ^[20]	POURHOSEINGHOLI等 ^[21]	HEGAZY等 ^[22]	CHO YOUN等 ^[12]	BOK等 ^[24]	PFEIFFER等 ^[25]	DREFUS等 ^[26]
随机分配	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-
隐藏分配	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-
基线相似性	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
受试者盲法	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-
治疗师盲法	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
评定者盲法	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
意向治疗分析	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
关键成果	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
组间比较	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
点测量和变异测量	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
总分	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	4

表注: “+”表示加1分;“-”表示为0分

估为6分^[18, 22, 25],1篇文献的佩德罗评估为4分^[26]。有7篇文献采用了随机分配的方法^[12, 16-17, 19-20, 22];4篇文献采用了隐藏分配方法^[18-19, 23, 25];纳入的所有文献均具有基线相似性;所有文献都不具有治疗师盲法、评定者盲法和意向治疗分析;所有文献均具有关键成果、组间比较、点测量和变异。文章总体质量水平为中等。

2.4 儿童足型分类分析结果

2.4.1 足印法 有研究提出的足弓指数法是中间1/3的足印面积与除脚趾外的

整体足印面积之比,见图3 I。足弓指数 ≤ 0.21 为高弓足, $I \geq 0.26$ 为扁平足,介于0.21-0.26为正常足^[19]。而在POURHOSEINGHOLI等^[21]的研究中足型分类标准稍有不同,当足弓指数 ≤ 0.21 为高弓足, ≥ 0.28 为扁平足,介于0.21-0.28为正常足。

Chippaux-Smirak指数定义为中足足印宽占前掌足印宽的百分比,见图3 II,根据CSI将足型分为5个类型:高弓足(0%)、正常足(0.1%-29.9%)、轻微扁平足

(30%–39.9%)、中度扁平足 (40%–44.9%) 和重度扁平足 ($\geq 45\%$)^[19]。

Clarke 角定义为前足内侧和后足足印内侧的切线与第一跖骨内侧点和腰窝内侧凹陷点连线的夹角^[16]，见图 3 III。

PAUK 等^[17] 在评估儿童脚型时使用 Clarke 角，当 Clarke 角 $< 42^\circ$ 为扁平足，Clarke 角 $> 48^\circ$ 为高弓足，Clarke 角在 42° – 48° 为正常足。此外，GIJON-NOGUERON 等^[16] 和 NIKOLAIDOU 等^[19] 将足型更详细的区分成以下 5 种：严重扁平足 (0° – 29.9°)、中度扁平足 (30° – 34.9°)、正常足 (35° – 42°)、高弓足 ($> 42^\circ$)。

Martirosov's K 指数根据 x 与 y 的比值将足分为高弓足 (≤ 0.76)、正常足 (0.77 – 1.03)、低弓足 (1.04 – 1.16) 和扁平足 (≥ 1.17) 4 种类型^[19]，见图 3 IV。

2.4.2 足印分类法 STAVLAS 等^[20] 在研究中根据腰窝部位足印内侧缘轮廓宽度 x 与腰窝部位足印外侧缘轮廓宽度 y 的长度之比将足印分为 6 种类型，示意图见图 4。

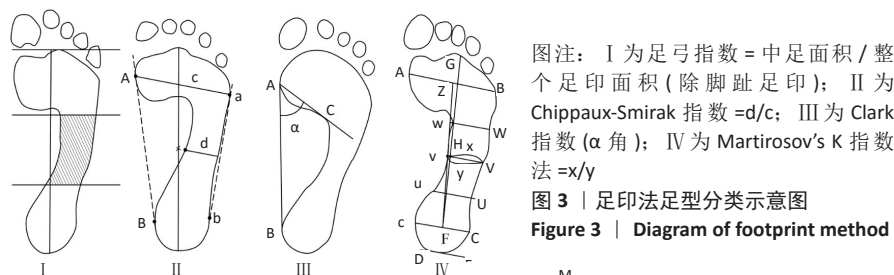
I 型表示重度高弓足， $x=y$ ；II 型表示轻度高弓足， $y>x \geq 3/4 y$ ；III 型表示正常足， $3/4 y > x \geq 2/4 y$ ；IV 型与 III 型类似， $2/4 y > x \geq 1/4 y$ ；V 型表示扁平足， $1/4 y > x \geq 0$ ；VI 型表示重度扁平足， $x > y$ 。

2.4.3 足印形态评估法 ABOLARIN 等^[18] 对中足足印的宽度进行足型分类。中足宽度比跖骨宽度短 1 cm 以内为扁平足，足印内侧边缘有隆起为严重扁平足，腰窝足印宽度小于 1 cm 为高弓足^[18]，其他足印均为正常足。

2.4.4 放射学评估法分析结果 Meary 角定义为足部负重侧位 X 射线片距骨长轴中线与第一跖骨长轴之间的夹角^[22]，见图 5。在正常负重状态下，距骨纵轴中线与第一跖骨的长轴汇成一条直线。Meary 角的正常范围是 -4° 至 $+4^\circ$ 。Meary 角 $> +4^\circ$ 为高弓足，Meary 角 $< -4^\circ$ 为扁平足^[22]。

2.4.5 临床检查法分析结果 足部姿势指数 (foot posture index, FPI) 是观察和评价静态足部姿势和足型分类的系统方法^[23]。该方法从 6 个方面对足型进行分类评价，具体见表 3。

在足部姿势指数的 6 个项目下，每项标准得分分为 -2，-1，0，+1，+2 分。其中 0 分为正常，-2 分为重度旋后 (supination)，



图注：I 为足弓指数 = 中足面积 / 整个足印面积 (除脚趾足印)；II 为 Chippaux-Smirak 指数 = d/c ；III 为 Clark 指数 (α 角)；IV 为 Martirosov's K 指数法 $= x/y$

图 3 | Diagram of footprint method

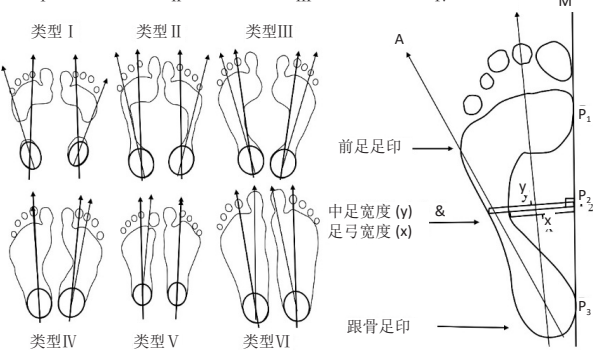


图 4 | Stavlas 足型分类示意图

Figure 4 | Diagram of Stavlas foot type classification

表 3 | 足部姿势指数 (FPI) 诊断表

Table 3 | Foot posture index diagnosis

位置描述	FPI 得分示意图
A. 距骨头触诊标准位置及评估方法	
B. 外踝上下斜率不同得分情况	
C. 跟骨额状面不同位置得分情况	
D. 距骨关节区域不同得分情况	
E. 内侧纵弓高低和弧度不同得分情况	
F. 足趾可见度不同得分情况	

表注：表中 A 为距骨头触诊标准，距骨头在外侧可触及且在不能触及及为 -2 分，外侧可触及距骨头且内侧稍可触及及为 -1 分，距骨头在外侧和内侧均可触及及为 0 分，距骨头外侧略可触及且内侧可触及及为 +1 分，距骨头外侧不可触及且内侧可触及及为 +2 分；B-F 项每项得分从左至右依次为 -2，-1，0，+1，+2 分

+2 分为重度旋前 (pronation)。得分范围为 -12 至 +12, 正值越大, 说明足旋前程度越高。0-5 分为正常足, +6 至 +9 分为扁平足, +10 分以上为重度扁平足, -1 至 -4 为高弓足, -5 至 -12 分为重度高弓足 [23]。

2.4.6 人体测量学检查法分析结果 如图 6 所示, 后足角即跟骨外翻角 [11], 定义为在矢状面上小腿平分线与跟骨平分线上的夹角。外翻角度在 -4° ~ 4° 为正常足; 外翻角度在 5° ~ 20° 为生理性扁平足; 外翻角度 $\geq 20^{\circ}$ 为病理性扁平足; 外翻角度 $\leq -5^{\circ}$ 为高弓足 [11]。

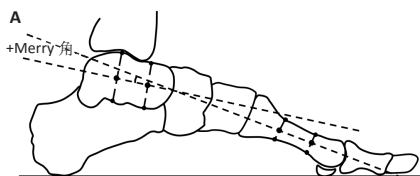
通过跟骨站立姿势和前足到后足的位置关系将儿童足型分为 3 种类型。扁平足: 静态跟骨站立姿势角度 $\geq 4^{\circ}$ 外翻或前足相对于后足 $\geq 4^{\circ}$ 内翻; 正常足: 静态跟骨支撑姿势 0° ~ 2° 的外翻且前足相对于后足 0° ~ 4° 的内翻; 高弓足: 静态跟骨站立姿势 $\geq 0^{\circ}$ 的内翻且前足相对于后足 $\geq 1^{\circ}$ 的外翻 [26]。

足弓高度指数是临床实践中常用的一种易于操作的足型分类方法 [27], 见图 7。足弓高度指数 = 足背高度 (取足长的 50%) / 截断足长 (从跟骨后端到第一跖骨的长度) [26]。坐姿状态下足型分类标准为: 扁平足 (≤ 0.365)、正常足 (0.365 ~ 0.390)、高弓足 (≥ 0.390) [26]。站立状态下足型分类标准为: 扁平足 (≤ 0.345)、正常足 (0.345 ~ 0.370) 及高弓足 (≥ 0.370) [26]。

3 讨论 Discussion

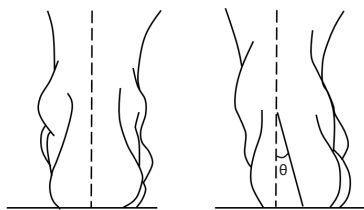
3.1 证据总结 通过对现有文献中儿童足型分类方法的总结与回顾, 发现前人在研究中大多采用足印法对儿童足型进行分类, 克拉克角度是足印法测量选取的常用方法, 除此之外, 部分研究采用多种方法相结合的方式。通过该研究结果表明儿童足型分类的方法各有优缺点, 目前仍不能定义出关于儿童足型分类方法的黄金标准。下面将对结果中涉及的足型分类方法所得结果做进一步的讨论与分析。

足印评估法作为一种简单便捷的方式在儿童足部的研究中广泛使用, 可能是因为足印法操作便捷、成本低, 并且不会对受试者产生不良的影响。但不同的足印评估指数对不同足型的分类会产生不同的结果 [19]。研究表明, 足印法中 Clarke 角



图注: 图 A, B 分别为高弓足和扁平足
图 5 | Meary 角示意图

Figure 5 | Diagrams of Meary's angle



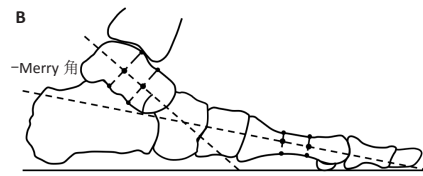
图注: 左、右图分别为距骨中立位和外翻位
图 6 | 右脚跟骨外翻角示意图

Figure 6 | Diagram of right foot calcaneal valgus angle

度和足姿势指数存在反向关系, 即 Clarke 角度越大, 足部姿势指数越小, 并不是所有的足部旋前都是扁平足, 也不是所有的足部旋后都是高弓足 [16]。使研究结果具有差异性的原因可能是仅凭借足底接触面积的足印形态区分足型具有片面性。此外, 对于足印法下足型参数的划分范围缺乏一致性, 如 NIKOLAIDOU 等 [19] 采用足弓指数 ≥ 0.26 的范围定义高弓足, 而 POURHOSEINGHOLI 等 [21] 则采用足弓指数 ≥ 0.28 的范围定义高弓足; PAUK 等 [17] 通过 Clarke 角将足型划分为正常足、扁平足和高弓足 3 大类, 而 GIJON-NOGUERON 等 [16] 和 NIKOLAIDOU 等 [19] 将足型更为精确地划分为严重扁平足、中度扁平足、正常足和高弓足。这表明对同一方法中的不同足型参数划分范围可能是导致研究结果具有差异性的主要原因 [27-28]。

放射学评估法作为评估静态足型的黄金标准, 在纳入文章中仅有 1 项研究单独使用了放射学评估法 [22], 有 2 项研究共同使用了放射学评估法和其他方法相结合的方式 [12, 24], 其原因可能是由于暴露于辐射环境下的潜在风险、成本高昂和操作流程复杂等因素所造成的 [22]。从该文的结果来看, 放射学评估法大多是在静态条件下进行测量, 此外, 大多数研究在放射学条件下采用多种指标相结合的方式而不是采取单一角度的评价方法。

纳入文章中仅发现一项研究单独使用了临床检查法 [23], 该方法具有快捷、



图注: 足弓高度
50% 足长
截断足长
图 7 | 足弓高度指数示意图

Figure 7 | Diagram of arch height index

成本低的优点, 但作为学术研究该方法过于繁琐且具有较强的主观性。临床检查法作为一种定性或半定量的方法通常在临床实践中进行, 通过对静态足部类型进行分类, 以便预先进行治疗干预。中小學生足姿势指数与静态站立条件下跟骨外翻角度存在中度相关性 [23], 因此, 有效可靠的足姿势指数和静态站立条件下跟骨的外翻角度可作为临床评估足部畸形的重要方法。

纳入文章中共有 3 项研究涉及人体测量学检查法 [24-26]。人体测量学评估法对足部形态的测量具有较高的准确性, 但通常耗时较长, 涉及皮肤标记和繁琐的手工测量。因此, 人体测量学评估法比较适用于小规模的研究群体。此外, 人体测量基于静态测量, 不能反映运动过程中足部的动态情况。

3.2 文章局限性 ①通过质量评估结果发现, 纳入文章的质量偏低, 这可能会造成偏倚风险; ②纳入的文献样本较少, 原因可能与检索不全面相关; ③研究样本量中的受试者人数差异较大, 这可能是造成研究结果具有差异性的主要原因之一; ④在不同的研究类型中使用了不同的儿童足型分类方法, 且对不同主要结局下各指标的定义也各不相同, 因而可能会对结果产生一定的影响。

3.3 临床适用性及对未来研究的启示 不正常的足型主要与软组织和肌肉组织的畸形和损伤有关, 严重的足部畸形会造成骨

髌组织和韧带出现损伤与变形,从而衰减足部的减震和缓冲功能。儿童足型分类方法已广泛运用到临床与学术研究中,以期在儿童在骨骼闭合前进行非正常足型的预防与矫正策略提供有价值的参考信息。由此可见,在孩童时期对足弓的类型进行分类是很有必要的。文章结果表明在儿童足型相关研究中,同一研究方法下不同足型参数范围的定义可能会造成研究结果的差异。多数研究采用多种足型分类方法相结合的方式,以减少单一方法所带来的误差。许多足部病变具有生物力学性质,并与足型有关。高弓足、扁平足与胫骨组织应力损伤相关。糖尿病足部神经病变的个体有足部神经组织溃疡的风险^[29],对足型的早期诊断和检测有利于相关病理变化的改善。此外,通过足部的静态测量只能解释足部运动学中的少量差异^[30-31],在未来的研究中,随着运动生物力学的不断发展,应基于多种体征相结合的方法提高儿童足型分类研究的精确度和信效度;此外,针对不同足型与骨组织及其韧带等组织的相关联系还需要进一步的探究。

3.4 结论 文章结果表明,以往研究多使用的是简单、便捷、成本低的足印法,且部分研究使用多种方法指标相结合的方式对儿童足型进行分类,不同方法各有其优缺点,目前对儿童足型分类仍无统一的最佳方法。文章通过对前人研究中所使用方法中的优缺点进行分析与总结,从而为骨科医师和足部矫形工作者提供参考。此外,目前多数足型分类方法仅显示了足部的静态结构特征,若使用足部结构或关节力线特征进行足型分类,则必须开展相应研究以建立静态足部结构和动态足部功能之间的关系,以使足型分类结果更具科学性。另外,足型分类时需结合多种测量方法,同时考虑足部在静态和动态条件下的特征,以增加儿童足型分类的准确性和信效度。研究人员仍需在现有研究基础上对儿童足型分类方法的有效性和可靠性做进一步的探讨,研究出科学、便捷、成本低廉的多维度足型分类评价方法,以更好地为儿童足部疾病的诊疗服务。

致谢: 感谢西安交通大学附属红会医院足踝外科诊疗中心的李毅老师对该研究提供的技术帮助。

作者贡献: 文章设计者为汤运启和李毅。资料收集者为邹灵秋和王志康。数据分析者为李灵君和郭新宇。汤运启和邹灵秋撰写论文。惠雪作者审核。

经费支持: 该文章接受了“陕西省教育厅重点科研项目(21JY002)、西安市科技局计划项目[SF1512(2)]及陕西省社会发展科技攻关项目(2016SF-333)”的资助。所有作者声明,该经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

写作指南: 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 指南)。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

生物统计学声明: 本研究经过西安交通大学附属西安市红会医院生物统计学专家核实。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] HARRIS EJ. The natural history and pathophysiology of flexible flatfoot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2010; 27(1):1-23.
- [2] FRANCO AH. Pes cavus and pes planus. Analyses and treatment. *Phys Ther.* 1987;67(5):688-694.
- [3] 张燊,张希妮,崔科东,等. 足弓的运动功能进展及其在人体运动中的生物力学贡献[J]. *体育科学*,2018,38(5):73-79.
- [4] 赵碎浪,杨峰,傅陆军,等. 足型分类方法研究进展[J]. *中国皮革*,2020,49(7):7-12.
- [5] CHEN KC, TUNG LC, TUNG CH, et al. An investigation of the factors affecting flatfoot in children with delayed motor development. *Res Dev Disabil.* 2014; 35(3):639-645.
- [6] EVANS AM, ROME K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2011; 47(1):69-89.
- [7] ROME K, ASHFORD R, EVANS A. Non-surgical interventions for paediatric pes planus. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010;7(7):CD006311.
- [8] TONG JW, KONG PW. Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(10):700-714.
- [9] DORSEY W, MCCIAIY IS, HAMILL J. Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. *J Appl Biomech.* 2001;17(2):153-163.
- [10] HOLLANDER K, STEBBINS J, ALBERTSEN IM, et al. Arch index and running biomechanics in children aged 10-14 years. *Gait Posture.* 2018;61:210-214.
- [11] WHITFORD D, ESTERMAN A. A randomized controlled trial of two types of in-shoe orthoses in children with flexible excess pronation of the feet. *Foot Ankle Int.* 2007;28(6):715-723.
- [12] YOUNG KJ, AHN SY, KIM BO, et al. Long-term effect of rigid foot orthosis in children older than six years with flexible flat foot. *Ann Rehabil Med-ARM.* 2019;43(2):224-229.
- [13] MORRISON SC, TAIT M, BONG E, et al. Symptomatic pes planus in children: a synthesis of allied health professional practices. *J Foot Ankle Res.* 2020;13(1): 5-7.

- [14] 汤运启,李静,王志康,等. 矫形鞋垫对扁平足人群足底压力分布的影响[J]. *中国皮革*,2019, 48(11):55-61.
- [15] DARS S, UDEN H, BANWELL HA, et al. The effectiveness of non-surgical intervention (Foot Orthoses) for paediatric flexible pes planus: a systematic review: update. *PLoS One.* 2018;13(2): e0193060.
- [16] GIJON-NOGUERON G, MARCHENA-RODRIGUEZ A, MONTES-ALGUACIL J, et al. Evaluation of the paediatric foot using footprints and foot posture index: a cross-sectional study. *J Paediatr Child Health.* 2020;56(2):201-206.
- [17] PAUK J, IHNATOUSKI M, NAJAFI B. Assessing plantar pressure distribution in children with flatfoot arch: application of the Clarke angle. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2014;104(6):622-632.
- [18] ABOLARIN T, AIYEBUSI A, TELLA A, et al. Predictive factors for flatfoot: the role of age and footwear in children in urban and rural communities in South West Nigeria. *Foot.* 2011;21(4):188-192.
- [19] NIKOLAIDOU ME, BOUDOLOS KD. A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. *Foot.* 2006;16(2):82-90.
- [20] STAVLAS P, GRIVAS TB, MICHAS C, et al. The evolution of foot morphology in children between 6 and 17 years of age: a cross-sectional study based on footprints in a Mediterranean population. *J Foot Ankle Surg.* 2005;44(6):424-428.
- [21] POURHOSEINGHOLI E, POURHOSEINGHOLI MA. Comparison of arch index of flat foot and healthy foot in pre-school children. *Thrita.* 2013;2(3):15-18.
- [22] HEGAZY FA, ABOELNASR EA, SALEM Y, et al. Validity and diagnostic accuracy of foot posture Index-6 using radiographic findings as the gold standard to determine paediatric flexible flatfoot between ages of 6-18 years: a cross-sectional study. *Musculoskel Sci Prac.* 2020;46:102-107.
- [23] CHO Y, PARK JW, NAM K. The relationship between foot posture index and resting calcaneal stance position in elementary school students. *Gait Posture.* 2019;74:142-147.
- [24] BOK SK, LEE H, KIM BO, et al. The effect of different foot orthosis inverted angles on plantar pressure in children with flexible flatfeet. *PLoS One.* 2016; 11(7):e0159831.
- [25] PFEIFFER M, KOTZ R, LEDL T, et al. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics.* 2006; 118(2):634-639.
- [26] DREFFUS LC, KEDEM P, MANGAN SM, et al. Reliability of the arch height index as a measure of foot structure in children. *Pediatr Phys Ther.* 2017;29(1): 83-88.
- [27] JAFARNEZHADGERO A, MADADI SHAD M, FERBER R. The effect of foot orthoses on joint moment asymmetry in male children with flexible flat feet. *J Bodyw Mov Ther.* 2018;22(1):83-89.
- [28] HOSL M, BOHM H, OESTREICH C, et al. Self-perceived foot function and pain in children and adolescents with flexible flatfeet-Relationship between dynamic pedobarography and the foot function index. *Gait Posture.* 2020;77(5):225-230.
- [29] LING E, LEPOW B, ZHOU H, et al. The impact of diabetic foot ulcers and unilateral offloading footwear on gait in people with diabetes. *Clin Biomech.* 2020;73:157-161.
- [30] BÖHM H, DÖDERLEIN L, FUJAK A, et al. Is there a correlation between static radiographs and dynamic foot function in pediatric foot deformities? *Foot Ankle Surg.* 2019;26(7):801-809.
- [31] 白啸天,霍洪峰. 足踝功能的生物力学测评:构建足静态和动态评价指标[J]. *中国组织工程研究*,2021,25(17):2747-2754.

(责任编辑: WJ, ZN, ZH)

儿童足型分类方法的系统综述

文章特色分析

一、文章重要性

1. 临床需求迫切

儿童足部畸形（如扁平足、高弓足）若未及时诊断与干预，可能影响其生长发育、步态功能，甚至引发继发性下肢问题。文章系统回顾儿童足型分类方法，为早期诊断与矫正提供理论依据，具有明确的临床意义。

2. 方法学整合价值高

目前儿童足型分类方法多样但缺乏统一标准，导致研究结果不一致、临床实践混乱。本文对四大类方法（足印法、放射学评估法、临床检查法、人体测量学检查法）进行系统比较，填补了该领域方法学综述的空白。

3. 推动标准化进程

文章指出当前缺乏“金标准”，并呼吁未来研究应结合静态结构与动态功能，推动儿童足型分类向更科学、更系统的方向发展。

二、创新性特色

1. 多方法系统比较

文章不仅列举了各类方法的操作方式、表征指标，还深入分析了各自的优缺点，如：

- 足印法：简便快捷但片面；
- 放射学法：准确但有辐射风险；
- 临床检查法：主观性强；
- 人体测量法：准确但耗时。

2. 强调“多指标结合”的分类策略

文章指出，当前最可靠的分类方式是多种指标相结合，而非依赖单一方法。这一结论对后续研究和临床实践具有指导意义。

3. 提出“动静态结合”的未来方向

文章创新性地指出，现有方法多局限于静态结构评估，未来应建立静态结构与动态功能之间的联系，提升分类的科学性与实用性。

三、对学科的启示

1. 促进多学科交叉融合

儿童足型分类涉及骨科、康复医学、生物力学、运动科学、人体工程学等多个领域。本文为跨学科合作提供了方法学基础与研究思路。

2. 推动儿童足部健康评估标准化

文章为制定儿童足型分类的标准化流程提供了证据支持，有助于统一临床评估与研究设计。

3. 引导未来研究方向

- 开发低成本、无创、动态的足型评估工具；
- 探索足型与下肢生物力学、运动损伤、矫形效果之间的关联；
- 建立儿童足型数据库，结合人工智能进行智能分类与预测。

总结

该文章是一篇方法学系统综述，具有较强的临床实用性与学术指导价值。其创新点在于对现有儿童足型分类方法进行了全面梳理与批判性评价，并提出了“多指标结合、动静态联动”的未来研究方向，对推动儿童足部健康研究的科学化、标准化具有重要启示作用。