·慢性病的生命早期预防·

柔性扁平足儿童的下肢生物力学变化

徐欢岚[1]，李明娣[1]，张何威[1]，陈小明[2]，顾琴[1]，梁冠军[1]

1. 苏州大学附属儿童医院康复医学科，江苏 苏州　215004；2. 苏州姑苏乐航悠康中医综合诊所

摘　要：目的　探讨柔性扁平足儿童在步态时空与运动学参数、足底生物力学及下肢肌电活动方面的变化特征，分析足弓结构异常可能的代偿表现，为康复评估和干预提供依据。**方法**　2024 年 2 月—2025 年 6 月在苏州大学附属儿童医院康复医学科选取柔性扁平足儿童 30 例为观察组，同期纳入年龄和性别匹配的正常足儿童 30 例为对照组，采用三维步态动作捕捉与训练系统、足底压力测试系统及表面肌电仪，比较两组步态时空参数、下肢运动学参数、足底生物力学参数及下肢肌群肌电活性。**结果**　与对照组相比，观察组步幅和步速降低（$t=-2.740$、-2.347，$P<0.05$）；踝关节最大背屈角度减小（$Z=-2.973$，$P<0.01$），最大跖屈角度减小（$t=-3.631$，$P<0.01$），膝关节最大屈曲角度增大（$t=3.472$，$P<0.01$）；内侧负荷比和前足负荷比升高（$t=6.155$、2.552，$P<0.05$），压力中心侧向偏移量降低（$t=-2.469$，$P<0.05$）；胫骨前肌和腓肠肌均方根（RMS）值均升高（$Z=5.025$、4.582，$P<0.01$）。**结论**　儿童柔性扁平足可导致足弓结构异常，引发步态模式改变及下肢肌群代偿性激活，长期可能增加运动损伤风险，需早期进行生物力学干预。

关键词：　柔性扁平足；下肢生物力学；步态分析；足底压力；儿童

中图分类号：R726.8　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1008-6579(2026)10-1105-06　　doi:10.11852/zgetbjzz2025-1412

Changes in lower-extremity biomechanics in children with flexible flatfoot

XU Huanlan[1], LI Mingdi[1], ZHANG Hewei[1], CHEN Xiaoming[2], GU Qin[1], LIANG Guanjun[1]

1. Department of Rehabilitation Medicine, Children's Hospital of Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215004, China;

2. Suzhou Gusu Lehang Youkang Traditional Chinese Medicine Clinic

Corresponding author: LIANG Guanjun, E-mail: 13071903@qq.com

Abstract: Objective　To investigate changes in gait spatiotemporal and kinematic parameters, plantar biomechanics, and lower-extremity electromyographic activity in children with flexible flatfoot, and to analyze potential compensatory manifestations associated with abnormal arch structure, so as to provide evidence for rehabilitation assessment and intervention. **Methods**　From February 2024 to June 2025, 30 children with flexible flatfoot were recruited as observation group from the Department of Rehabilitation Medicine, Children's Hospital of Soochow University, meanwhile 30 children with normal feet matched by age and gender were selected as control group. A three-dimensional gait motion-capture and training system, a plantar-pressure testing system, and surface electromyography were used to compare gait spatiotemporal parameters, lower-extremity kinematic parameters, plantar biomechanical parameters, and lower-extremity muscle activity between the two groups. **Results**　Compared with the control group, the observation group had a shorter stride length and lower gait speed ($t=-2.740$, -2.347, $P<0.05$), a smaller maximum ankle dorsiflexion angle ($Z=-2.973$, $P<0.01$), and maximum plantarflexion angle ($t=-3.631$, $P<0.01$); and a larger maximum knee-flexion angle ($t=3.472$, $P<0.01$). The medial and forefoot load ratios were higher ($t=6.155$, 2.552, $P<0.05$), whereas the lateral displacement of the center of pressure was lower ($t=-2.469$, $P<0.05$). The root mean square (RMS) values of the tibialis anterior and gastrocnemius muscles were also significantly higher ($Z=5.025$, 4.582, $P<0.01$). **Conclusions**　Children with flexible flatfoot exhibit abnormal arch structure, altered gait patterns, and compensatory activation of lower-extremity muscles, which may increase the long-term risk of sports injuries. Early biomechanical assessment and intervention should therefore be considered.

Keywords:　flexible flatfoot; lower-extremity biomechanics; gait analysis; plantar pressure; children

柔性扁平足（flexible flatfoot，FFF）作为临床上常见的足部发育畸形，其特征为负重状态下足弓塌陷、非负重状态下足弓部分或完全恢复，流行病学研究显示，15%～30%的儿童存在不同程度的

基金项目：江苏省卫生健康委面上（青年）项目（MQ2024027）

作者简介：徐欢岚（1987—），女，本科学历，副主任技师，主要研究方向为儿童康复。

通讯作者：梁冠军，E-mall：13071903@qq.com

FFF[1-3]。患病率随年龄增长降低，男童患病风险更高[4-5]。足弓形态异常可导致下肢力线紊乱，引发步态模式改变及肌群代偿性激活[6-7]，长期可能导致踝关节扭伤、膝关节退变、运动耐力下降、下肢畸形、跖骨痛、大腿痛及腰背疼痛等风险[8-9]。即使在没有明显疼痛症状的情况下，一些儿童仍然表现出潜在问题，如足底稳定性不足、步态效率降低以及平衡、运动功能受损等[10-11]。

目前，关于柔性扁平足的研究多聚焦于儿童足弓形态学描述或成人慢性并发症分析，针对儿童群体的系统性生物力学研究相对缺乏。儿童正处于运动量升高与骨骼快速发育时期，生物力学异常若不及时干预可能造成持续性力线改变与运动损伤风险增加。本研究旨在探索柔性扁平足儿童与正常足儿童的足弓指数、动态步态参数、足底压力分布特征及下肢肌群肌电活性，系统阐明柔性扁平足儿童的下肢生物力学特征，揭示其足弓结构异常与步态代偿机制的关联，为临床早期生物力学干预提供客观实验依据，进而降低儿童运动损伤风险，改善其运动功能与生活质量。

1 对象和方法

1.1 对象 选取 2024 年 2 月—2025 年 6 月在苏州大学附属儿童医院康复医学科就诊的柔性扁平足儿童为研究对象。纳入对象均因足部外观异常、行走易疲劳或运动后不适等原因就诊，部分患儿伴轻至中度足部不适，但均无严重疼痛或明显功能受限。

1.1.1 纳入和排除标准 观察组纳入标准：1）符合柔性扁平足诊断标准，非负重状态下足弓存在、负重时足弓塌陷，Chippaux-Smirak 指数（chippaux-smirak index，CSI）＞0.30，X 线检查 Meary 角＞4°[12-13]；2）年龄 7～10 岁；3）能够配合完成步态和肌电检测。对照组纳入标准：1）年龄 7～10 岁；2）体检健康、发育正常，无足部异常；3）能够配合完成步态和肌电检测。两组共同排除标准：1）合并其他足部畸形（如马蹄足、高弓足、多趾或并趾畸形）或足部骨骼发育异常（如副舟骨、跟骨外翻＞15°）；2）合并明确影响下肢运动控制或步态模式的神经系统疾病（如脑瘫、脊髓灰质炎后遗症、周围神经病变）或肌肉疾病（如肌营养不良）；3）近 6 个月内有下肢骨折、韧带损伤或手术史；4）正在接受足部矫形治疗（如佩戴矫形鞋垫或足弓支撑器）或服用影响肌肉功能的药物；5）存在急性足部损伤、皮肤感染或溃疡；6）合并超重或肥胖［体质量指数（body mass index，BMI）≥同年龄、同性别 P_{85}）］[14]、先天性髋关节发育不良等可能影响下肢力线的疾病。本研究经苏州大学附属儿童医院伦理委员会批准（伦理批号：2023CS039）。

1.1.2 样本量计算 采用 G＊Power 3.1 软件计算。参考前期研究[15]，设定效应量 $\eta^2=0.71$、显著性水平 $\alpha=0.05$、检验效能 $1-\beta=0.90$，每组至少需要 28 例。考虑 10％脱落率，理论样本量需要 31 例，本研究共纳入柔性扁平足儿童 30 例作为观察组，同期纳入年龄和性别匹配的正常足儿童 30 例作为对照组。满足最小样本量要求。

1.2 研究工具

1.2.1 GaitWatch 三维步态动作捕捉与训练系统 采用 GaitWatch 三维步态动作捕捉与训练系统（广州章和智能，型号：GaitWatch），通过 7 个可穿戴传感器采集骨盆、髋关节、膝关节、踝关节的时空参数和运动学参数。采样频率为 200 Hz。传感器穿戴具体位置见表 1。

表 1 GaitWatch 三维步态动作捕捉与训练系统传感器穿戴位置

Tab. 1 Sensor placement for the GaitWatch three-dimensional gait motion-capture system

传感器名称	体表位置
骨盆传感器	髂嵴水平连线与身体正中后线交界处
髋关节传感器	髋关节到膝关节的中部，正前方
膝关节传感器	胫骨平台外侧，髌骨下两横指
踝关节传感器	跖趾关节后方，第二至第四跖骨

1.2.2 足底压力测试 采用 Podomed 足底生物力学特征可视化系统（南京力真科技，型号：UP18），采集两组受试者步行时生物力学特征，采样频率为 500 Hz。足底压力测试板 110 cm×44 cm×1.5 cm。

1.2.3 下肢表面肌电 采用 Trigno Wireless 系统（美国 Delsys，型号：Trigno Mini）记录下肢胫骨前肌、腓肠肌的肌电活性，采样频率为 1 000 Hz。

1.3 测试方法

1.3.1 动态步态测试 测试步道长 12 m，足底压力板嵌在测试步道的中部。测试前需进行姿态校准，受试者穿戴好传感器，双脚并拢站立，双手自然下垂，置于身体两侧，双眼平视前方，持续 5 s，等待软件自动完成校准提示。受试者赤脚以自然步态在 12 m 步道上往返行走，选取步态自然且数据捕捉完整的试次，记录步态和足底压力数据。受试者先完成 2 次适应性步行，熟悉实验环境及设备[6]。

1.3.2 表面肌电检测 用酒精清洁皮肤表面，将表面肌电极片粘贴于胫骨前肌肌腹中点处，平行于肌纤维走向；腓肠肌表面电极片位于内外侧头肌腹中点。受试者完成 5 次单腿提踵动作（最大自主收

缩），记录肌电信号作为基线；随后与动态步态测试同步进行，采集步态周期内肌电的均方根（root mean square，RMS）值[16]。鉴于 7～10 岁儿童在对抗阻力条件下难以稳定完成标准化最大自主收缩测试，本研究选用单腿提踵作为功能性最大自主收缩参考动作，以提高儿童配合度和测试可重复性，但该方法可能低估真实最大自主收缩水平。

1.4　质量控制　所有受试者均由同一名具有 5 年以上经验的康复医师依据统一的纳入与排除标准进行筛查。所有设备每日使用前均严格校准。运动传感器每次测试前进行姿态校准；足底压力板确保平整防滑；肌电测试采用一次性电极并以最大自主收缩验证信号质量。测试在固定的、安静的实验室环境中由同一名经过专业培训的技师完成。测试前，向所有受试者详细解释流程，要求受试者赤足，以自然、舒适的速度行走，确保所采集的步态数据反映其真实状态。数据自动采集以减少人为误差。分析时选取连续、稳定的 3 个步态周期，肌电信号经带通滤波（20～450 Hz）后计算 RMS 值，排除工频干扰和运动伪影。

1.5　统计学方法　采用 SPSS 25.0 软件进行数据分析。采用 Shapiro-Wilk 检验评价正态性；符合正态分布的定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，组间比较采用独立样本 t 检验；不符合正态分布的定量资料以 $M(P_{25}，P_{75})$ 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。分类资料以例数（%）表示，组间比较采用 χ^2 检验。采用双侧检验，$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　一般人口特征　观察组和对照组在年龄、性别、身高、体重及 BMI 方面比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$），具有可比性。见表 2。

表 2　观察组和对照组一般人口学特征比较（$\bar{x}\pm s$）

Tab. 2　Comparison of general characteristics between the observation and control groups（$\bar{x}\pm s$）

项目	对照组（$n=30$）	观察组（$n=30$）	t/χ^2 值	P 值
年龄（岁）	8.35±0.50	8.45±0.50	−0.778[a]	0.440
性别（男/女，例）	16/14	13/17	0.601[b]	0.438
身高（cm）	132.30±3.67	131.90±3.78	0.420[a]	0.676
体重（kg）	29.33±2.15	28.76±2.03	1.047[a]	0.299
BMI（kg/m^2）	16.66±0.29	16.57±0.26	1.205[a]	0.233

注：[a]t 值，[b]χ^2 值。

2.2　观察组和对照组时空参数比较　与对照组相比，观察组步幅、步速降低，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。步频差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 3。

表 3　观察组和对照组时空参数、运动学参数、足底生物学参数、下肢肌群肌电活性比较（$\bar{x}\pm s$）

Tab. 3　Comparison of spatiotemporal parameters，kinematic parameters，plantar biomechanical parameters，and lower-extremity muscle activity between the observation and control groups（$\bar{x}\pm s$）

类别	参数	对照组（$n=30$）	观察组（$n=30$）	t/Z 值	P 值
时空参数	步幅（cm）	118.93±3.39	116.47±3.58	−2.740[a]	0.008
	步速（cm/s）	121.70±5.74	118.60±4.40	−2.347[a]	0.022
	步频（steps/min）	121.53±2.99	120.10±3.12	−1.818[a]	0.075
运动学参数	踝关节最大背屈角度[$M(P_{25}，P_{75})$]	9.50（9.00，10.50）	9.00（9.00，9.63）	−2.973[b]	0.003
	踝关节最大跖屈角度	31.17±1.23	29.90±1.46	−3.631[a]	0.001
	膝关节最大屈曲角度	58.78±1.83	60.75±2.51	3.472[a]	0.001
	膝关节最大伸展角度[$M(P_{25}，P_{75})$]	4.50（4.00，5.00）	5.00（4.00，5.50）	1.352[b]	0.176
足底生物学参数	内侧负荷比（%）	49.61±1.64	53.43±2.99	6.155[a]	<0.001
	前足负荷比（%）	58.94±1.24	60.60±3.35	2.552[a]	0.013
	CoP 侧向偏移量（mm）	29.92±1.09	29.21±1.11	−2.469[a]	0.017
下肢肌群肌电活性	胫骨前肌 RMS[μV，$M(P_{25}，P_{75})$]	17.05（16.90，19.05）	19.90（19.05，20.05）	5.025[b]	<0.001
	腓肠肌 RMS[μV，$M(P_{25}，P_{75})$]	19.05（18.95，20.45）	21.90（19.75，21.95）	4.582[b]	<0.001

注：[a]t 值，[b]Z 值。

2.3　观察组和对照组运动学参数比较　与对照组相比，观察组踝关节最大背屈角度、最大跖屈角度减小，膝关节最大屈曲角度增大，差异均有统计学意义（$P<0.01$）。膝关节最大伸展角度差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表 3。

2.4　观察组和对照组足底生物力学参数比较　与对照组相比，观察组内侧负荷比、前足负荷比显著升高，压力中心（center of pressure，CoP）侧向偏移量降低，差异均有统计学意义（$P<0.05$）。见表 3。

2.5　观察组和对照组下肢肌群肌电活性　与对照组相比，观察组胫骨前肌和腓肠肌 RMS 值均升高，差异均有统计学意义（$P<0.01$）。见表 3。

3 讨 论

3.1 FFF 儿童足弓异常与步态效率下降密切相关 足弓作为人体行走时的“弹性杠杆”，在推进阶段发挥关键作用。FFF 儿童因中足稳定结构发育不良或松弛，导致距下关节过度外翻和旋前，破坏了正常的三关节运动链协调性，使得足部在行走过程中无法产生足够的推进力，可能造成单步推进效率下降，进而迫使儿童通过缩短步幅来维持行走稳定性[13,17]。既往研究表明扁平足步行效率下降与足弓塌陷导致的推进力减弱密切相关[18]。足底与地面接触面积增大，推进效率降低，增加行走时的能量消耗，进而影响步速。本研究通过与正常儿童对比发现，FFF 儿童均表现出步幅缩短，步速下降的特点，提示 FFF 儿童步行效率可能下降，这与既往研究的结论一致[19]。

需要指出的是，本研究中 FFF 组步速变化可能对关节角度、足底压力及肌电活动产生系统性影响，因此不能完全排除其作为潜在混杂因素的可能。未来研究可通过速度匹配或将步速作为协变量进行校正分析，以进一步明确足弓结构异常本身对下肢生物力学的独立影响。

3.2 踝背屈受限促发膝关节代偿 正常足弓通过韧带与肌肉张力维持距下关节中立位，扁平足患者足弓塌陷易导致距下关节过度外翻[20-21]，进而增加胫骨内旋，限制踝关节有效背屈[22]，限制“踝关节摇杆(ankle rocker)”机制的正常运作，削弱小腿三头肌对胫骨前移的控制能力，最终影响步态推进效率[23]。研究显示，峰值踝背屈角与步态中下肢生物力学参数密切相关，且存在功能性踝背屈受限临界值[24]。本研究中，观察组较对照组踝关节最大背屈、跖屈角度减小，步幅缩短，步速下降，差异均有统计学意义($P<0.05$)。

Maas 等[25]对痉挛型脑瘫儿童的研究显示，膝关节与踝足背屈之间存在直接的生物力学耦合关系：由于踝背屈受限，胫骨前移受阻，使得在足跟触地时踝足向前滚动的能力不足；而当足跟离地时，又由于踝关节活动受限导致足跟无法有效蹬离地面，出现廓清障碍。为维持身体平衡与推进效率，膝关节必须通过增加屈曲角度来调整重心。这是一种主动的代偿策略。本研究结果与上述生物力学联系相符，且与 Kothari 等[4]在无症状扁平足儿童中观察到的运动学改变一致。

3.3 FFF 影响足底压力分布 研究表明，在承重状态下，6～7 岁儿童发生足弓塌陷的比例为 31.43%，跟骨外翻的概率高达 87.62%[26]。足纵弓支持功能减弱，使距下关节过度旋前，进而引起足底压力重新分布，即显著增加了第一跖骨区、内侧足弓区及后足内侧区的压力占比[27]。本研究结果发现 FFF 儿童内侧负荷比和前足负荷比显著高于正常儿童，可能因距下关节过度旋前、足弓动态塌陷，导致“锁紧机制(windlass mechanism)”效率下降，在推进期无法有效利用足底筋膜弹性储能，因而需依赖前足更早、更强地发力以完成推进动作，从而提高了内侧负荷比和前足负荷比[28]。

FFF 儿童站立相足部旋前时间延长，足底压力中心轨迹向内侧偏移[29]。这种内移不仅延长了压力集中在内侧的时间窗口，也降低了步态稳定性。研究显示，扁平足儿童在行走时 CoP 路径更靠近足内缘，且在推进期时内侧跖骨承受更大的剪切力和垂直载荷[30]。此外，在部分症状性扁平足儿童中出现小腿肌肉功能不足或疲劳，进一步增加内侧负荷[31-32]。本研究中 FFF 儿童 CoP 侧向偏移量低于正常儿童，反映了足弓塌陷对压力传导与重心调节的潜在影响。

3.4 肌电活动升高提示代偿性肌力需求增加 本研究显示观察组胫骨前肌、腓肠肌 RMS 值显著升高，表明 FFF 患者存在下肢肌群过度激活的代偿机制。研究显示扁平足严重程度与足底内在肌、小腿肌群及核心肌群的力量呈负相关[33]。小腿三头肌紧张会限制踝背屈，扭曲正常的足部滚动机制，迫使患儿以前足触地或尖足模式行走[34]。青少年 FFF 的研究发现，胫骨前肌和腓肠肌表面肌电信号增强与踝关节不稳引发的神经肌肉代偿有关[35]。本研究中 FFF 儿童胫骨前肌和腓肠肌 RMS 值升高，反映出其在推进阶段需提供更强的力量输出以弥补足弓弹性的缺失。这种持续升高的 RMS 值意味着肌肉在同等负荷下需要募集更多运动单位，提示其做功效率下降，并可能增加肌肉疲劳的易感性。结合踝关节活动受限，可见 FFF 儿童依赖胫骨前肌过度激活维持稳定，腓肠肌代偿性增强，构成了一种低效且高耗能的步态模式。

本研究仍存在一定局限性。首先，样本量相对有限，且研究对象主要来源于医院就诊人群，可能以症状性柔性扁平足为主，结果在无症状人群中的推广性仍需进一步验证；其次，本研究未将体重作为协变量纳入分析，无法反映体重与足弓形态、生物力学参数之间的交互作用；此外，肌电检测采用单腿提踵作为功能性最大自主收缩参考动作，可能低估真实的最大肌力水平。未来研究可扩大样本规模，开展

纵向随访，并结合速度校正、能量代谢指标等多维度参数，进一步阐明儿童柔性扁平足的生物力学演变规律。综上所述，儿童柔性扁平足与足弓结构稳定性下降、步态效率降低、关节运动学代偿、足底压力分布异常及肌群过度激活相关，长此以往可能增加下肢运动损伤风险。

利益冲突声明　本文不存在利益冲突

数据可用性声明　本研究数据包含了参与者的个人信息、健康状况等敏感内容。在整个研究过程中，研究团队采取了多重数据保护措施，如数据加密、匿名化处理等，以确保数据的安全性和保密性。鉴于数据的敏感性质，无法公开原始数据。

参考文献

[1] 熊怒，王旭，黄加张，等. 儿童柔韧性扁平足的矫形鞋垫治疗研究进展[J]. 中国矫形外科杂志，2022，30(7)：630-634.
Xiong N，Wang X，Huang JZ，et al. Research progress in flexible flatfoot and its therapy with orthotic insoles in children[J]. Orthop J China，2022，30(7)：630-634.（in Chinese）

[2] 中国康复医学会儿童康复专业委员会，中国优生优育协会儿童生长与康复专业委员会. 儿童柔性扁平足康复管理指南(2025)[J]. 中华实用儿科临床杂志，2025，40(9)：641-652.
Pediatric Rehabilitation Committee，Chinese Association of Rehabilitation Medicine；Children's Growth and Rehabilitation Committee，Chinese Association for Birth Outcome and Child Development. Guidelines for rehabilitation management of flexible flatfoot in children (2025)[J]. Chin J Appl Clin Pediatr，2025，40(9)：641-652.（in Chinese）

[3] 黄兆欣，唐乐天，肖晓飞，等. 矫形鞋垫干预柔韧性扁平足儿童青少年下肢功能的 Scoping 综述[J]. 中国康复理论与实践，2024，30(11)：1343-1350.
Huang ZX，Tang LT，Xiao XF，et al. Effects of orthotic insoles on lower-extremity function in children and adolescents with flexible flatfoot：A scoping review[J]. Chin J Rehabil Theory Pract，2024，30(11)：1343-1350.（in Chinese）

[4] Kothari A，Dixon PC，Stebbins J，et al. Are flexible flat feet associated with proximal joint problems inchildren?[J]. Gait Posture，2016，45：204-210.

[5] Kardm SM，Alanazi ZA，Aldugman TAS，et al. Prevalence and functional impact of flexible flatfoot in school-aged children：A cross-sectional clinical and postural assessment[J]. J Orthop Surg Res，2025，20(1)：783.

[6] 赛雪，贾雨晴，张书语，等. 不同运动疗法对青年柔韧性扁平足患者足弓形态和下肢功能的影响[J]. 中国运动医学杂志，2024，43(9)：689-698.
Sai X，Jia YQ，Zhang SY，et al. Effects of different exercise interventions on arch morphology and lower-extremity function in young adults with flexible flatfoot[J]. Chin J Sports Med，2024，43(9)：689-698.（in Chinese）

[7] 廖广滔，冯梓誉，傅小勇，等. 距下关节制动治疗儿童柔性扁平足：影像学指标与临床疗效的关系[J]. 中国组织工程研究，2026，30(3)：661-670.
Liao GT，Feng ZY，Fu XY，et al. Subtalar arthroereisis for pediatric flexible flatfoot：Relationship between radiographic indicators and clinical efficacy[J]. Chin J Tissue Eng Res，2026，30(3)：661-670.（in Chinese）

[8] Boryczka-Trefler A，Kalinowska M，Szczerbik E，et al. How to define pediatric flatfoot：Comparison of two methods of assessing foot posture under static and dynamic conditions in children aged 5 to 9 years[J]. Foot Ankle Spec，2023，16(1)：43-49.

[9] 张进，姜淑云，李阳，等. 儿童柔韧性扁平足的诊断及防治研究进展[J]. 中国学校卫生，2023，44(6)：946-950.
Zhang J，Jiang SY，Li Y，et al. Advances in diagnosis，prevention，and treatment of flexible flatfoot in children[J]. Chin J Sch Health，2023，44(6)：946-950.（in Chinese）

[10] Banwell HA，Paris ME，MacKintosh S，et al. Paediatric flexible flat foot：How are we measuring it and are we getting it right? A systematic review[J]. J Foot Ankle Res，2018，11：21.

[11] 张英杰，吴桐，刘璐赟，等. 昆明市部分小学学龄期儿童扁平足患病筛查分析[J]. 昆明医科大学学报，2023，44(1)：31-34.
Zhang YJ，Wu T，Liu LY，et al. Screening analysis of flatfoot in school-aged children in Kunming City[J]. J Kunming Med Univ，2023，44(1)：31-34.（in Chinese）

[12] Zhang L，Peng X，He S，et al. Association between subtalar articular surface typing and flatfoot deformity：Which type is more likely to cause flatfoot deformity?[J]. BMC Musculoskelet Disord，2021，22(1)：979.

[13] Nourbakhsh SA，Sheikhhoseini R，Piri H，et al. Spatiotemporal and kinematic gait changes in flexible flatfoot：A systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res，2025，20(1)：223.

[14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 肥胖症中国诊疗指南(2024 年版)[J]. 协和医学杂志，2025，16(1)：90-108.
Department of Medical Administration，National Health Commission of the People's Republic of China. Chinese guidelines for the clinical management of obesity (2024 edition)[J]. Med J Peking Union Med Coll Hosp，2025，16(1)：90-108.（in Chinese）

[15] 姜雅文，刘明威，黄奥卿，等. 儿童扁平足足底压力与静态平衡和躯干参数的相关性[J]. 医用生物力学，2026，41(3)：884-890.
Jiang YW，Liu MW，Huang AQ，et al. Correlation between plantar pressure，static balance，and trunk alignment in children with flatfoot[J]. J Med Biomech，2026，41(3)：884-890.（in Chinese）

[16] Bhatia A，Ajoy SM，Galagali DA，et al. Electromyographic analysis of large muscle activity in progressive collapsing foot deformity[J]. Foot Ankle Spec，2026，19(3)：269-275.

[17] Kobayashi T, Hirota K, Otsuki R, et al. Morphological and mechanical characteristics of the intrinsic and extrinsic foot muscles under loading in individuals with flat feet[J]. Gait Posture, 2024, 108: 15-21.

[18] DeFrancesco CJ, Conti MS, Zanini S, et al. Flatfoot reconstruction for painful pediatric idiopathic flexible flatfoot: Prospective study demonstrates improved alignment, function, and patient-reported outcomes[J]. J Pediatr Orthop, 2024, 44(3): e267-e277.

[19] 李阳，姜淑云，张进，等. 不同严重程度柔韧性扁平足对学龄期儿童步行功能的影响[J]. 中国康复，2022，37(9)：523-527.
Li Y, Jiang SY, Zhang J, et al. Effect of different severity of flexible flatfoot on walking function in school-aged children[J]. Chin J Rehabil, 2022, 37(9): 523-527. (in Chinese)

[20] Pavone V, Testa G, Vescio A, et al. Diagnosis and treatment of flexible flatfoot: Results of the 2019 Flexible Flatfoot Survey from the European Paediatric Orthopedic Society[J]. J Pediatr Orthop B, 2021, 30(5): 450-457.

[21] Pavone V, Vescio A, Andreacchio A, et al. Results of the Italian Pediatric Orthopedics Society juvenile flexible flatfoot survey: Diagnosisand treatment options[J]. J Pediatr Orthop B, 2022, 31(1): e17-e23.

[22] Rao Y, Yang N, Gao T, et al. Effects of peak ankle dorsiflexion angle on lower-extremity biomechanics and pelvic motion during walking and jogging[J]. Front Neurol, 2023, 14: 1269061.

[23] Brunner R, Frigo CA. Control of tibial advancement by the plantar flexors during the stance phase of gait depends on knee flexion with respect to the ground reaction force[J]. Bioengineering (Basel), 2024, 11(1): 41.

[24] Gao T, Ma Z, Yang N, et al. The relationship of peak ankle dorsiflexion angle with lower-extremity biomechanics during walking[J]. J Foot Ankle Res, 2024, 17(2): e12027.

[25] Maas JC, Huijing PA, Dallmeijer AJ, et al. Decrease in ankle-foot dorsiflexion range of motion is related to increased knee flexion during gait in children with spastic cerebral palsy[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2015, 25(2): 339-346.

[26] 郭俊超，王亚伟，樊瑜波，等. 6～7 岁儿童扁平足的生物力学特点[J]. 中国康复医学杂志，2023，38(4)：495-499.
Guo JC, Wang YW, Fan YB, et al. Biomechanical characteristics of flatfoot in children aged 6-7 years[J]. Chin J Rehabil Med, 2023, 38(4): 495-499. (in Chinese)

[27] Panaet EA, Zwierzchowska A, Peyré-Tartaruga LA, et al. Distribution of plantar pressures under static conditions in various areas of pediatric flatfoot during a sensitive period of development: A pilot study[J]. Balneo PRM Res J, 2023, 14(4): 607.

[28] Böhm H, Stebbins J, Kothari A, et al. Dynamic gait analysis in paediatric flatfeet: Unveiling biomechanical insights for diagnosis and treatment[J]. Children (Basel), 2024, 11(5): 604.

[29] Padrón L, Bayod J, Becerro-de-Bengoa-Vallejo R, et al. Influence of the center of pressure on baropodometric gait-pattern variations in adults with flatfoot: A case-control study[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2023, 11: 1147616.

[30] Zhao Y, Yan S, Zhang L, et al. Do gait patterns normalize concurrently with the recovery of foot arches in children with flatfoot? A prospective cohort study[J]. J Biomech, 2025, 187: 112758.

[31] Böhm H, Dussa CU. Clinical, radiographic, and gait parameters associated with medial arch pain in flexible pediatric flatfoot[J]. J Foot Ankle Surg, 2023, 62(4): 637-643.

[32] Kirmizi M, Sengul YS, Angin S. The effects of calf-muscle fatigue on dynamic plantar-pressure distribution in normal foot posture and flexible flatfoot: A case-control study[J]. J Back Musculoskelet Rehabil, 2022, 35(3): 649-657.

[33] Kim MH, Cha S, Choi JE, et al. Relation of flatfoot severity with flexibility and isometric strength of the foot and trunk extensors in children[J]. Children (Basel), 2023, 10(1): 19.

[34] Payehdar S, Taheri A, Tahririan M. Impact of night orthotic management on gastrocnemius-soleus complex tightness in pediatric flexible flatfoot: A systematic review[J]. Prosthet Orthot Int, 2023, 47(1): 112-116.

[35] Xiong N, Chen L, Ru T, et al. Plantar-pressure distribution during the gait cycle after subtalar arthroereisis in adolescent flexible flatfoot[J]. Front Pediatr, 2025, 13: 1618096.

收稿日期：2025-12-10 **修回日期**：2026-03-19 **本文编辑**：王悦

声　明

为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊已被 CNKI 中国期刊全文数据库收录，其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付（已经抵扣稿件处理费），不再另付。如作者不同意文章被收录，请在来稿时向本刊声明，本刊将做适当处理。

《中国儿童保健杂志》编辑部