

6—7岁儿童扁平足的生物力学特点*

郭俊超¹ 王亚伟² 樊瑜波^{2,4} 蒲景玉³

摘要

目的:探讨6—7岁儿童扁平足的发生概率,并进一步调查扁平足的生物力学特征。

方法:利用MIMICS软件测量210足在负重位时足弓高度和足跟外翻度数,并通过Footscan数据测量比较正常足和扁平足的足底压力区域和接触面积的不同,进行统计学分析。

结果:此年龄段内扁平足的生物力学特征即为足弓高度低于22.93mm,足弓塌陷发生率为31.43%;足跟外翻角度大于7.66°,发生概率为87.62%。两者同时发生的概率约为27.61%。与正常足足底压力和接触面积相比,扁平足足底压力主要集中在前足的第二跖区、第三跖区和足跟内侧区域,中足接触面积增加41.9%。

结论:6—7岁儿童中扁平足约占三分之一,本研究为儿童足部健康调查及鞋类设计提供了一些参数。

关键词 扁平足;足弓高度;足跟外翻;足底压力;接触面积

中图分类号:R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2023)-04-0495-05

Biomechanical behavior of 6—7 years children flatfoot/GUO Junchao, WANG Yawei, FAN Yubo, et al// Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2023, 38(4): 495—499

Abstract

Objective: Exploring the occurrence and biomechanical behavior of 6—7 years children flatfoot.

Method: The arch height and heel valgus degree of 210 feet during weight bearing were taken with SHANGHE and MIMICS. And then, the plantar pressure and contact area were measured with Footscan.

Result: The biomechanical characters of flatfoot in this age group was that the incidence of arch collapse lower than 22.93mm is 31.43%; Probability of heel valgus angle greater than 7.66° is 87.62%. The incidence of both was about 27.61%. Compared with the normal foot, the plantar pressure of flatfoot mainly concentrated on regions of the second metatarsal, the third metatarsal and the medial heel; the contact area of the midfoot increased by 41.9%.

Conclusion: About a third of 6—7y children is flatfoot. This will provide the reference data for the children's foot health and shoe design.

Author's address Key Laboratory of Human Motion Analysis and Rehabilitation Technology of the Ministry of Civil Affairs, National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Beijing, 100176

Key word flatfoot; arch height; heel valgus angle; plantar pressure; contact area

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.04.010

*基金项目:国家科技部项目(2016YFB1101101);国家自然科学基金项目(11702068, U20A20390, 11827803, 11421202);国家重点研发计划项目(2020YFC0862700);国家康复辅具研究中心基本科研业务费项目(118009001000160001)

1 国家康复辅具研究中心,北京市老年功能障碍康复辅助技术重点实验室和民政部人体运动分析与康复技术重点实验室,北京市,100176;
2 北京航空航天大学生物与医学工程学院,生物力学与力生物学教育部重点实验室,北京市生物医学工程先进创新中心; 3 北京市大兴区瀛海镇第二中心幼儿园; 4 通讯作者

第一作者简介:郭俊超,男,博士,高级工程师; 收稿日期:2021-11-03

扁平足是足部疾病中常见的足部畸形,其主要特征是内侧足弓塌陷,同时伴随跟骨位置不稳、舟骨突出等症状^[1]。研究报道显示,扁平足的形成与遗传因素有一定的关系,但缺乏准确的理论依据^[2]。但多数扁平足患者是由于发育期韧带松弛、肌腱无力或腿部肌肉力发展不平衡导致的^[3]。有学者研究发现,严重者可引起足底疼、筋膜炎、甚至骨盆倾斜旋转、脊椎侧弯等,大约有三十种足部疾病如足底筋膜炎、跟腱炎、腱鞘炎、足跟痛等与扁平足发生有关^[4],但扁平足的发病原因与多种因素如肌骨发育异常、鞋结构设计不合理等因素有关^[2,4]。

临床上,正常儿童站立时,足跟承受2/3的体重,剩余1/3的体重通过足弓传递至前足区域。在儿童足弓形成阶段,若足底受力不合理可能就会出现足部骨骼和肌肉发育异常,而形成扁平足的病理状态,甚至导致其它严重的足部畸形症状。儿童6—8岁是足弓的形成阶段,足前后方向的轴线与矢状面的夹角称为Fick角,即Fick角在5°以上时则表现出了足跟外翻症状^[5],这也成为研究者参考的标准^[5]。因此,本文以6—7岁儿童为研究对象,通过实验测量比较正常足和扁平足的足弓高度、足后跟角度、足底压力的不同,从而为预防儿童出现扁平足提供数据参数。

1 方法

1.1 实验测量

2018年11月至2020年4月,选取北京市中关村一幼6—7岁105例儿童(男童58例,女童47例)共210足为研究对象,采用上禾(SHANGHE)身高体重一体机测量仪SH—700G儿童款,身高体重测量时,受试者赤脚站立。测量足弓高度和足跟外翻的角度:当受试者站立位负重情况下,由专业矫形师触诊受试者舟骨结节的位置,并用Mark笔标注舟骨结节位置,此标记点为足弓的最高点;同时,该矫形师通过触诊确定小腿三头肌表层肌头、跟腱中点、跟骨结节的解剖学位置,作为足跟外翻的三个标记点,然后通过相机记录下每位受试者的图片,然后输入到MIMICS10.01软件(Materialise公司,比利时)进行足弓高度和足跟外翻角度的测量,如图1所示。

1.2 足底压力测量

根据足弓高度和足跟外翻角度统计数据,选定30扁平足和30正常足。然后根据足底长度进行后足、中足、前足的三等分,利用RSscan International公司研制的Footscan进行足底接触面积的测量,进而比较分析正常足和扁平足的足底接触面积差异性,如图2a所示。

通过Footscan的足底压力测试系统(其测力平板上均匀分布9000多个压力传感器,采样频率最高可达500Hz)。利用此测试系统对受试者的足底进行10个区域的分区,分区包括:足跟内侧(HM)、足跟外侧(HL)、足弓区(MF)、第一跖区(M1)、第二跖区(M2)、第三跖区(M3)、第四跖区(M4)、第五跖区(M5)、拇趾区(T1)、2—5趾区(T2—5),如图2b所示。测试受试者负重位平衡站立时,进一步比较正常足和扁平足足底压力分布情况。

2 结果

MIMICS软件测量的足弓高度和足跟外翻角度、足底压力分布规律、足底接触面积等数据,通过SPSS19.0统计软件进行数据的分析处理。

2.1 男童和女童身高体重比较

图1 MIMICS测量足弓高和足跟外翻角度

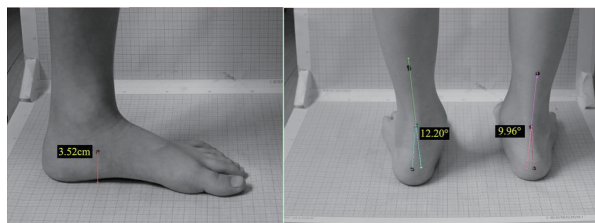


图2 足底接触面积三等分(a)及足底压力分区(b)

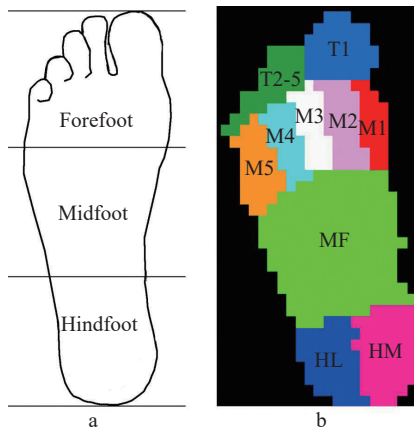


表1显示,6—7岁男童和女童的身高体重差异性不明显,说明该年龄段中性别的差异性对身高体重影响不明显,为进一步的扁平足分析提供分析依据。

2.2 足弓高度

210足的平均足弓高度为26.77mm。经t检验可得,当检验值即足弓高度<22.93mm时 $P<0.05$ (如图3所示),即认为该值与足弓高度平均值有显著性差异。此年龄段中扁平足为66只,发生概率为31.43%。

2.3 足跟外翻角度

平均足跟外翻角度为12.14°,符合正态分布规律如图4所示,经t检验值>7.66°时 $P<0.05$,有显著性差异即足跟角度大于此值时有外翻的倾向。184足的足跟角度>7.66°,发生概率为87.62%。足弓高度低于22.93mm和足跟外翻角度>7.66°的足有58个,占总体比例的27.61%。

2.4 足底压力及足底接触面积

图5出示了正常足和扁平足足底压力分布及压力中心变化的情况。从足底压力分布来看:正常足的足底压力集中在HM、HL、M2、M3、M5区域,而扁平足足底压力集中在HM、MF、M2、M3区域。从压力中心的运动轨迹来看,正常足和扁平足足底压力中心差异不大。从足底区域接触面积分析,与正常足的前足(49.7%)、中足(23.6%)、后足(26.7%)接触

面积相比,扁平足三个区域的接触面积分别增加-4.8%、41.9%、-28.1%,见表2。

图4 足跟外翻角度的直方图及t检验结果

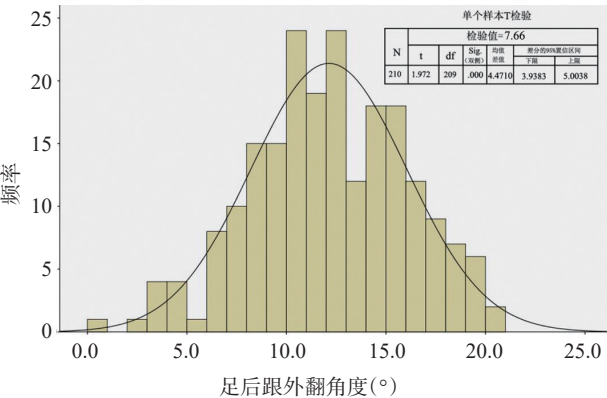
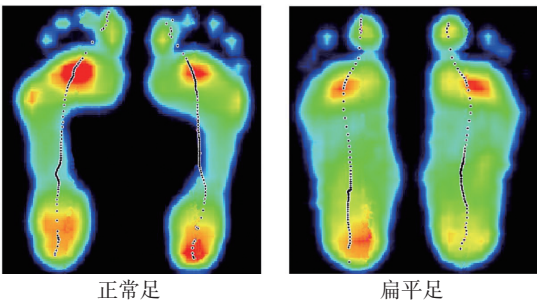


图5 正常足和扁平足足底压力分布



虚线表示足底压力中心的运动轨迹

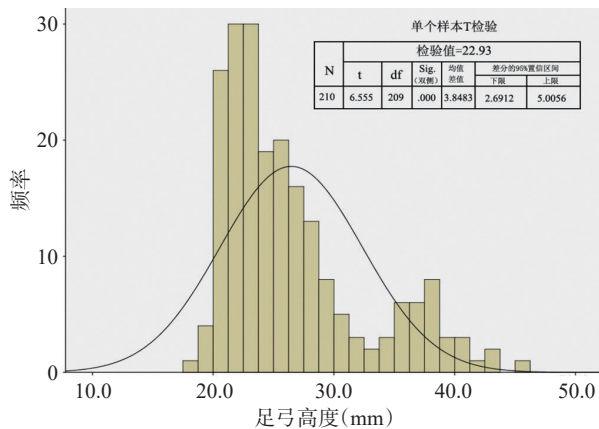
表2 正常足和扁平足的前足、中足、后足接触面积占足底的百分比

足底区域	正常足(n=30)	扁平足(n=30)
前足	49.7%	47.3%
中足	23.6%	33.5%
后足	26.7%	19.2%
总面积	100%	100%

表1 研究对象(6—7岁)身高和体重情况 ($\bar{x}\pm s$)

	例数	身高(cm)	体重(kg)
男童	58	114.42±3.61	25.3±2.30
女童	47	112.56±2.38	23.6±2.16
P值		>0.01	>0.01

图3 足弓高度的直方图及t检验结果



3 讨论

扁平足在儿童生长期是足部经常出现的异常状态特征,若早期穿鞋不当、运动不协调或足部健康重视不够可能会引起足弓发育畸形、关节对位不齐、肌肉韧带挛缩等症状^[6]。研究显示,儿童扁平足发病率较高^[4,6-7],其结构形态严重影响足部运动功能,而6—7岁的儿童正处于足弓结构的形成期^[4,8-9],骨骼生长和钙化会逐渐加固足弓结构,同时肌肉韧带的力学性能能很好的稳定关节和足弓结构^[3,6]。因此,

了解此年龄段扁平足的生物力学特点,对预防和保护儿童进一步的足部健康有重要意义。

足弓高度和足跟外翻是量化扁平足生物力学特点最明显的特征^[6-7,10]。研究者发现,3—12岁是足弓形成和快速增长的时期,其中扁平足的发生率为21.56%—37.5%^[11],与本研究足弓高度低于22.93mm占总体比例的31.43%相比,具有一致性(图3)。但研究报告还指出,扁平足在儿童和青少年阶段的较高发生率,大多都不是病理型^[11],而是属于生理型,这种生理型扁平足经过合理的干预和外界辅助^[8-9,12],随着软组织和骨骼的发育会自行纠正,不会出现韧带松弛、肌腱无力、胫骨扭转等引起的下肢疼痛、足部损伤、局部溃疡等并发症的发生^[13]。除足弓高度塌陷外,足跟外翻也为扁平足的诊断提供重要的依据,本研究采用小腿后足力线法测量的足跟外翻角度,与研究者探索的Fick角测量法^[5],具有相似性。正常儿童的这个角度大约为5°,随着足弓的成形,这个角度会增加,成人12°—18°^[13]。本研究发现足跟外翻角度大于7.66°时,有足跟外翻的倾向,此值略大于5°,原因可能是此年龄段儿童肌肉韧带强度不够,对维持关节和骨性结构的能力有限所致。与小学和中学生的扁平足发生率35.9%—47.8%相比^[14],本研究中足弓塌陷和足跟外翻的比例为27.61%,说明随着年龄的增长,扁平足发生率有增长的趋势^[15]。其增长的原因可能与鞋的结构、运动方式、自身肥胖有关,导致足部发育过程中足部肌肉韧带的强度和骨性结构的发育畸形^[13],而肥胖因素会加重下肢力线的偏斜和肌力发育不平衡^[5-7,9]。

目前,涉及扁平足的研究方法较多。足印法是应用最广泛的方法^[2,6,8],而由于足印法主观测量的差异性,一般配合统计学方法从足底各区域压力、压强、足弓接触面积、足弓高度和前足宽度等数据分析,综合评估不同年龄段扁平足的严重程度^[6]。本研究采用的研究方法能更好的量化扁平足相关足部测量参数如足弓高度、角度等指标,与前研究者采用的方法具有相似性。比如王光正等建立了扁平足三维有限元模型,通过足弓塌陷的相关参数指标,如跖骨倾斜角度、舟骨角度、跟骨倾斜角等15项参数指标,评估扁平足足外翻的严重程度^[10]。Mosca通过

青少年扁平足的X线片正立位的距骨中轴线与第一跖骨轴线的夹角、与横断面的夹角和跟骨跖屈角是测量足弓塌陷的可靠指标^[12],探索扁平足康复治疗效果。为本研究的采用的足弓高度、足后跟角度等测量的参数指标,提供了重要依据。

此外,足底压力测试也是评价扁平足的重要数据参数。正常足和扁平足足底压力区域和足底接触面积都存在明显差异的。足底压力指数相关性分析显示,M1—M5相关指数(0.385)是后足(0.165)的2.3倍,T1—T5足底压力指数仅占0.05,说明前足在整个足底压力中占比例最大^[16],与研究者发现的足弓处压力增大相比,前足的足底压力也略有增大^[13],具有一致性。此外,与表2中正常足的足底接触面积相比,扁平足足底接触面积中前足占总体的47.3%,其次是足弓33.5%和后足19.2%(表2),足底压力也集中在前足的M2、M3区域(图5),足弓区域的接触面积增加了41.9%,这可能是足弓塌陷导致此区域的接触面积大大增加^[11,16]。对于此年龄段运动量过大的孩子,长期的足弓接触面积过大,不仅会引起足弓部疼痛,而且会影响足弓骨间韧带的牢固性和肌肉韧带的弹性^[17],促使足弓塌陷更严重^[11]。因此,本研究调查的6—7岁儿童扁平足的发病率情况及扁平足的生物力学特征,对了解此年龄段扁平足的发生率及发生位置、避免引起其他并发症的发生,提高该年龄段人群的足部健康具有重要意义。

4 结论

本研究利用MIMICS软件、Footscan测试和SPSS19.0统计学软件,统计分析了6—7岁儿童扁平足发生概率约为27.61%,其足弓高度低于22.93mm和足跟外翻角度大于7.66°时该年龄段儿童足底压力的主要集中区域。其次,与正常足相比,扁平足足底压力主要集中前足的M2、M3和HM区域,中足的足底接触面积增加40%左右。然而本研究不足之处在于测量参数集中在足弓高度、足后跟角度,有可能忽略了其他参数指标的次要影响;基于专业技师Mark点标识,存在主观判断性误差。在进一步的研究中,将通过步态分析和运动学的关节角度计算,获得精确的测量结果,并细分扁平足的轻度、中度、重度等严重程度的不同,为进一步预防儿童足部相关

疾病的发生及儿童鞋的设计提供数据参考。

参考文献

- [1] 王光正, 石光林, 吴声翔, 等. 扁平足站立中期足底压力与踝关节分析[J]. 广西科技大学学报, 2021, 32(2):41—45.
- [2] 张新语, 霍洪峰. 足型测量方法及足型特征研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(7):875—879.
- [3] Kenis VM, Lapkin YA, Husainov RK, et al. Flexible flatfoot in children (Review)[J]. Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery, 2014, 2(2):44—54.
- [4] 任鼎, 郭小雷. 儿童扁平足的成因及防治[J]. 文体用品与科技, 2021, 10:55—56.
- [5] Su S, Mo Z, Guo J, et al. The effect of arch height and material hardness of personalized insole on correction and tissues of flatfoot[J]. Journal of Healthcare Engineering, 2017, 2017:1—8.
- [6] 韩理琨, 弓太生, 李方, 等. 6—10岁儿童扁平足基本参数的测量与分析[J]. 中外鞋苑, 2017, 3:104—107.
- [7] 韩艳坤, 霍洪峰. 扁平足患者足型及步态特征研究[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(4):434—439.
- [8] 潘国建. 足弓的测量及其分析[J]. 中国康复医学杂志, 2005, 10:41—42.
- [9] 韩炳善, 袁媛. 西安市2074名学龄前儿童扁平足发生情况[J]. 中国学校卫生, 2019, 40(7):1097—1098.
- [10] 王光正, 石光林, 吴声翔, 等. 扁平足站立中期足底压力与踝关节分析[J]. 广西科技大学学报, 2021, 32(2):41—45.
- [11] 张新语, 霍洪峰. 足型测量方法及足型特征研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(7):875—879.
- [12] Mosca V. Flexible flatfoot in children and adolescents[J]. Journal of Children's Orthopaedics, 2010, 4(2):107—121.
- [13] 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.
- [14] Hong J, Dai G, Weng Q, et al. Interference screw for the treatment of pediatric flexible flatfoot[J]. The Journal of Foot and Ankle Surgery, 2020, 59(6):1209—1214.
- [15] 孙文强, 高娜, 肖华鹏, 等. 足踝功能训练配合矫形鞋治疗儿童柔软性扁平足的效果探究[J]. 反射疗法与康复医学, 2020, 11(19):160—162.
- [16] Camurcu Y, Ucpunar H, Karakose R, et al. Foot orthoses use for pediatric flexible flatfoot: comparative Evaluation of quality of life for children and parents[J]. Journal of Pediatric Orthopedics. Part B, 2021, 30(3):282—286.
- [17] Andrew KB, Saeed F, Karl BL, et al. Foot posture is associated with plantar pressure during gait: a comparison of normal, planus and cavus feet[J]. Gait & Posture, 2018, 62(1):235—240.

(上接第494页)

- 部分[J]. 中国康复医学杂志, 2015, 30(7):747—754.
- [13] 韩彤立, 邹丽萍, 郑华, 等. 粗大运动功能分类系统在痉挛型脑性瘫痪儿童中的信度和效度[J]. 临床儿科杂志, 2009, 27(3):264—266+277.
- [14] Jantakat C, Ramrit S, Emasithi A, et al. Capacity of adolescents with cerebral palsy on paediatric balance scale and Berg balance scale[J]. Res Dev Disabil, 2015(36C):72—77.
- [15] 宋红云, 李建华, 戴雪松, 等. 前交叉韧带损伤患者及健康人膝关节屈肌协同收缩的对比研究[J]. 中国运动医学杂志, 2015, 34(11):1054—1057.
- [16] 张红运, 杜菲. 针刺结合坐位训练治疗脑瘫患儿坐位功能异常的临床研究[J]. 针刺研究, 2013, 38(5):403—406+410.
- [17] 胡淑珍, 尹宏伟, 阮雯聪, 等. 悬吊训练对痉挛型脑瘫患儿平衡功能和粗大运动功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2020, 42(11):1011—1013.
- [18] 王军, 郎永斌, 杜江华, 等. 悬吊运动训练对痉挛型脑瘫患儿运动及平衡功能的影响[J]. 中国当代儿科杂志, 2018, 20(6):465—469.
- [19] 康贝贝, 徐磊, 卢明甲, 等. 儿童悬吊训练系统对脑瘫儿童躯干控制及粗大运动功能的影响[J]. 中国儿童保健杂志, 2017, 25(9):891—893.
- [20] 许晶莉. 学龄期脑性瘫痪儿童表面肌电图的特征与应用研究[D]. 南方医科大学, 2012.
- [21] 徐开寿. 限制—诱导运动治疗结合电刺激对偏瘫型脑瘫患儿上肢功能影响的对照研究[D]. 南方医科大学, 2012.
- [22] 曾璐. 躯干控制训练对脑瘫患儿综合能力及活动功能的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2015, 25(16):100—103.
- [23] 徐艳, 谢文龙, 何凤翔. 前馈控制结合躯干训练对小儿脑瘫患儿运动发育恢复及随访的影响[J]. 中国儿童保健杂志, 2019, 27(8):889—892.
- [24] 张洪安, 郑锦洪, 岳乾军, 等. 脊柱-骨盆调衡术治疗痉挛型脑瘫患儿30例临床观察[J]. 云南中医学院学报, 2015, 38(4):51—56.
- [25] 刘建华, 魏清川, 胡秀茹, 等. 躯干控制训练联合肌内效贴对卒中后偏瘫患者躯干及平衡功能的临床疗效[J]. 中国康复, 2020, 35(11):582—586.
- [26] 刘跃琴, 张惠佳, 覃蓉, 等. 核心控制训练对痉挛型脑性瘫痪的疗效[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(11):1071—1073.