

不同年龄不同性别儿童足底压力分布特征对比研究

徐文泉¹, 冯玲², 崔广泽³, 胡宗祥⁴

(1. 北京航空航天大学体育部, 北京 100191; 2. 北京市海淀区实验小学, 北京 100037;
3. 首都体育学院体育教育训练学院, 北京 100191; 4. 集美大学体育学院, 福建 厦门 361021)

摘要:取XX小学100名7岁和10岁男女学生儿童为研究对象,通过Footscan平板系统对儿童进行站立和步行的足底压力数据采集,使用单因素方差分析对数据进行统计,深入了解儿童足底压力分布特征,对比其左右脚差异、年龄差异以及性别差异。结果表明:静态站立时儿童重心落在足后区,一般在右后区,且10岁较7岁儿童静态中重心控制更好;儿童动态足底压力中,前足所受冲量最大,足跟次之,中足最小;前足中跖骨区所受冲量较大;从最大压强来看,足跟区受力最大,跖骨区受力大小大致表现为 $M3 > M2 > M5 > M1 > M4$;且年龄增大,足跟区和第三跖骨区受力增大,女生比男生表现更为明显;儿童步态不均衡,中足区和足跟区的左右差异大,主要表现为左脚中足区各特征值大于右脚,而在足跟区各值小于右脚,且女生表现更为明显。结论:7岁较10岁儿童足跟过渡更快,步频快,同年龄段女生较男生更接近于成人动态足底压力情况。

关键词:儿童;足底压力;步态

中图分类号:G 804.6

文献标识码:A

文章编号:1007-7413(2024)04-0049-06

Comparative Study on Plantar Pressure Distribution Characteristics in Children of Different Ages and Genders

XU Wenquan¹, FENG Ling², CUI Guangze³, HU Zongxiang⁴

(1. P. E. Sect., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

2. Shiyan Primary School, Haidian District, Beijing 100037, China; 3. Institute of Physical Education and Training Capital University of Physical Education And Sports, Beijing 100191, China;

4. School of Physical Education, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This study selected 100 male and female students aged 7 and 10 from XX Primary School as subjects. Using the Footscan plate system, plantar pressure data were collected during standing and walking. A one-way ANOVA was used to statistically analyze the data to gain an in-depth understanding of the plantar pressure distribution characteristics in children, comparing differences between left and right feet, age differences, and gender differences. Results: During static standing, the children's center of gravity fell in the rearfoot area, generally in the right rearfoot area, with 10-year-olds having better static center of gravity control than 7-year-olds. In children's dynamic plantar pressure, the forefoot received the greatest impulse, followed by the heel, and the midfoot received the least. The metatarsal area of the forefoot received a larger impulse. From the perspective of maximum pressure, the heel area experienced the greatest force, and the force distribution in the metatarsal area generally showed $M3 > M2 > M5 > M1 > M4$. As age increased, the force in the heel and third metatarsal areas increased, with girls showing this more prominently than boys. Children exhibited an unbalanced gait, with significant left-right differences in the midfoot and heel areas. Specifically, the midfoot values of the left foot were greater than those of the right foot, while the heel values were smaller than those of the right foot, with girls showing these differences more prominently. Conclusion: Seven-year-old children transitioned through the heel strike phase faster and had a quicker step frequency compared to 10-year-olds. Girls of the same age group had dynamic plantar pressure characteristics closer to adults than boys.

Key words: children; plantar pressure; gait

收稿日期:2023-11-01

基金项目:昆山多威体育用品有限公司资助项目(KH54203601)

第一作者简介:徐文泉(1969—),男,北京人,副教授。研究方向:运动训练学、运动心理学。

足在人体站立、行走等日常活动中与地面接触力量不同,在行走中所承受负荷约为体重 1.2 倍,跑步时达到 2.75 倍。而足底压力分布测量能够提供大量运动力学数据,用于分析足部结构、功能及姿态控制等方面的人体机能变化。这些数据对于理解足部的生物力学特性,以及合理解释和早期诊断潜在的足部疾病,具有重要的科学意义。足底压力可以分为静态足底压力和动态足底压力。研究表明,随着年龄的增长,足底压力的分布模式会发生变化。此外,不同的运动状态,如步行、跑步或静立,都会显著影响足底压力的分布。因此,不同年龄段和不同运动状态下的足底压力分布呈现出多样性和复杂性。这些变化和差异不仅反映了个体生理特征的不同,还揭示了足底压力分布与生物力学特性之间的关系^[1-4]。目前,国内外对于成年人步态中足底压力分布研究甚多,对于儿童步态中足底压力的科学研究主要集中在一些特殊儿童,如肥胖或存在足部畸形的群体,足部超负荷和肥胖引起的足底压力参数变化对儿童和青少年有着重要影响^[5-6]。与成年人相比较,正常儿童站立时,足跟

承受约三分之二的体重,剩余三分之一的体重通过足弓传递至前足区域^[7]。这种负重分布模式有助于维持身体的平衡和足部的稳定性,同时减少足部压力集中在单一区域,降低损伤风险。儿童步态中步频较快,足跟触地时间长,且儿童少年时期^[8],足的生长速度较快,女孩从 3 岁到 12 岁、男孩从 3 岁到 15 岁期间,足长和足宽以平均每年以 8~10mm 速度成比例增长,且 7~8 岁和 9~10 岁这两个年龄段是儿童足快速生长时期^[9],基于此本研究通过对 7 岁和 10 岁两个比较有代表性年龄的健康儿童进行足底压力分布测试,进一步了解儿童少年足动力学,为当今儿童足底压力分布的现状提供更为完善和科学的认知,也为未来疾病防治和足部健康管理提供科学依据。

1 研究对象

选取 XX 小学 7 岁和 10 岁儿童各 50 名,男女各半,身体健康,体型匀称,无下肢病症(表 1)。

表 1 受试者信息统计表

年龄/岁	性别	人数	鞋码	身高/cm	体重/kg	P 值
10	男	25	35.52 ± 0.51	137.80 ± 3.48	32.45 ± 4.94	$P > 0.05$
	女	25	34.48 ± 0.51	136.88 ± 3.95	31.79 ± 4.23	
7	男	25	33.92 ± 1.08	128.60 ± 4.65	26.60 ± 4.73	$P > 0.05$
	女	25	32.64 ± 1.50	126.88 ± 5.39	26.03 ± 5.37	

2 研究方法与指标

2.1 研究方法

足底压力数据采集:采用比利时 RSscan 公司生产研发的 Footscan 压力分布平板系统,测力板大小为 50cm × 40cm × 1cm,由 USB 数据线与计算机相连。设置触发阈值为 10Hz,采样频率为 300Hz^[10]。对此设置进行标定后,依次录入受试者姓名、体重、鞋码等基本信息,采集其静态足底压力以及步态中左右脚的足底压力。实验人员在测力板两边铺设 6m 和 4m 长泡沫垫,高度为 1cm,要求受试者光脚在长端垫子上准备,听到测试人员口令后双脚踩到测力板上,静止不动,待

听到结束口令后再次回到长端垫子处等待口令,听到开始口令后,先迈左足出发,正常行走,单脚走过测力板至垫子短端;再次听到口令后还是左足先迈出,另一只脚单脚走过测力板至垫子长端,保证两次踩到测力板上的脚不同,每只脚保留三次有效数据;实验中每名受试者在测试前均先按照要求进行试走,保证其步态正常。同时,每次采集结束测试人员应观察压力曲线是否正常,不正常应重新再采集,正常则保存。

数据处理方法:将足底压力测试数据选择较好的一组导出,运用 SPSS19.0 和 Excel 表格对所有数据进行描述性统计及单因素方差分析等统计学分析与整理,将 0.05 作为差异显著性标准, $P > 0.05$ 表明没有显著性差异, $P < 0.05$ 表明有显著差异。

2.2 研究指标

为研究足底压力分布与传导特性,根据人体解剖结构将其分三个区:前足区(Forefoot, FF)、中足区(Midfoot, MF)和足跟区(Rearfoot, RF)。前足区细分七个区域第一跖骨区(T1)、第2~5跖骨区(T2-5)、第一跖骨区(M1)、第二跖骨区(M2)、第三跖骨区(M3)、第四跖骨区(M4)和第五跖骨区(M5);足跟区细分为足跟内侧区(HM)和足跟外侧区(HL)。

所选取各指标及涵义(共5个), (1)接触时间百分比(T%):特定区域接触时间/总着地时间,用于衡量特定区域在整个着地过程中的接触时间占比; (2)接触面积百分比(S%):特定区域接触面积/总面积; (3)冲量/体重(I/W):I表示特定区域的冲量,其物理涵义为力对时间的积分;I/W就等于冲量对体重的倍数,此指标可排除体重对力值的影响,从而真正反映运动过程中地面反作用力随时间的累积效应变化情况,单位: $N \cdot s/kg$; (4)压强/体重(P/W):特定区域最大压强对体重的倍数,从而排除体重对力值的影响,单位: Pa/kg ; (5)最大压强(P_{max}):特定区域单位

面积所受的最大压力,单位:Pa。

3 结果与讨论

3.1 静态足底压力分布特征

从表2两个年龄男女生静态足底压力分布得出:10岁组和7岁组男女均表现为后区静态足底压力较前区大;右区比左区大,且除7岁女生外,其他均为右后区大于左后区,说明10岁组和7岁组儿童静态压力中心分布在后区(靠近足跟区),7岁组女生静态压力中心分布在左后区,10岁男女及7岁男生静态压力中心分布在右后区。仅7岁组左后区有明显性别差异($P < 0.05$),其它无性别差异,说明10岁男女生静态足底压力无差异,而7岁年龄男女生静态足底压力有所不同。年龄差异分析发现,男生左后区和右前区有明显年龄差异($P < 0.05$),10岁和7岁的女生静态足底压力分布差别不大,10岁男生左后区和右前区压力分布百分比增加,重心更接近中间,整体看10岁儿童静态中重心控制较好。

表2 静态足底压力分布百分比($\bar{X} \pm s$) (%)

年龄/岁	性别	左前区	左后区	右前区	右后区
10	女	15.71 \pm 5.44	31.60 \pm 6.80	19.46 \pm 6.39	33.27 \pm 6.77
	男	18.75 \pm 7.75	28.96 \pm 7.42 [#]	21.76 \pm 6.12 [#]	30.53 \pm 6.96
7	女	15.92 \pm 5.73	34.32 \pm 6.19 [*]	16.85 \pm 6.33	32.90 \pm 6.90
	男	18.25 \pm 6.94	28.59 \pm 6.79 ^{**#}	20.30 \pm 6.12 [#]	32.90 \pm 7.14

注: *表示同年龄性别差异明显($P < 0.05$); **表示同年龄性别差异非常明显($P < 0.01$); #表示同性别年龄差异明显($P < 0.05$)

3.2 动态足底压力分析特征

3.2.1 足底三大分区的动态压力分布与对比

从足底三大分区动态压力分布看到,两年龄段在I/W、P/W和 P_{max} 指标上均表现为前足区最大,足跟区次之,中足区最小。在S%中表现为前足接触面积最大,中足次之,足跟最小,7岁组中足和足跟接触面积相差不大。10岁组中右脚前足和中足接触面积有性别差异($P < 0.05$),女生前足接触面积较男生要大,而中足接触面积较男生要小。7岁组左右脚足跟区域的冲量/体重有性别差异($P < 0.05$),其中右脚的性别差异明显;前足所受冲量大约为2~2.4倍的体重,足跟区受1~1.6倍体重的冲量,且女生足跟区所受冲量较男生要大,说明女生足底压力分布较同龄男生更接近于成人^[11]。

在同年龄段同性别受试者左右脚对比发现,两年龄段在中足区和足跟区左右差异较大,表现为左脚中足区受力较右脚大,而足跟区受力较右脚小,且同年龄段女生左右脚差异较男生大。10岁女生在MF的S%、I/W、P/W和 P_{max} ,足跟的S%($P < 0.05$),及RF的 P_{max} ($P < 0.05$)上均有明显左右足差异;10岁男生在RF的S%和MF的I/W、P/W上有左右脚差异($P < 0.05$);7岁男女生在MF和RF区域的S%($P < 0.05$)、I/W($P < 0.05$)、MF的P/W和 P_{max} ($P < 0.05$)上均有差异,整体看两组男女生中足区域I/W、P/W、 P_{max} 均有明显左右脚差异,除10岁男生在中足S%上无差异,其它均有左右差异,且10岁女生S%的左右差异较大;7岁男女生在RF区的I/W上有左右差异,且女生差异较大;而10岁女生在足跟区

最大压强中有差异,说明 10 岁和 7 岁儿童左右中足受力不均匀。

两年龄组足底三大分区动态压力分布发现,男女生在足跟接触面积均有年龄差异($P < 0.05$),随年龄增长,足跟面积增大。男生在 RF 区的 L/W 有年龄差异($P < 0.05$),且 10 岁组较 7 岁组冲量比要大,10 岁组足跟接触时间较长,步频较慢。足跟区 P/W 男女生都有年龄差异,且 10 岁组比 7 岁组在足跟区所受压强比要小,这与 10 岁儿童体重较大有关。整体看 10 岁儿童较 7 岁儿童足跟压力减小,前足压力增加,步态更趋近于成人。

3.2.2 足趾区动态压力分布与对比

两年龄组第一趾骨区和其他四趾骨区动态压力分布特征均表现为 T1 区各特征值比 T2-5 区大,说明在足趾区主要是 T1 区受力,T2-5 区受力较小。T1 区接触时间占总时间 40%~50%,且 10 岁组普遍比 7 岁组接触时间要少;T2-5 区接触时间占总接触时间 25%~40%,且 10 岁组普遍比 7 岁组接触时间长。对两组分别进行性别差异分析发现:仅 10 岁 T1 区右脚接触面积百分比有明显性别差异($P < 0.05$),且女生接触面积大于男生,其它均无性别差异。整体看 10 岁和 7 岁组的男女生足趾区的动态压力分布分别无较大性别差异。

在对比左右脚分析看到,10 岁组女生在足趾两区 S% 上均有左右差异($P < 0.05$),7 岁组男生在 P_{\max} 和 P/W 中有左右差异($P < 0.05$);其它均无统计学差异。整体看 10 岁组男生和 7 岁组女生左右无明显差异;10 岁组女生足趾区主要是接触面积左右差异较大,而 7 岁组男生主要是 T2-5 区左右受力差异较大。从年龄差异分析发现,在 T2-5 区男女生右足接触面积有年龄差异($P < 0.05$),说明年龄增长对 T2-5 区的动态压力影响表现在接触面积上,对受力情况影响不大。男生右脚在 T1 区 T% 上有差异($P < 0.05$),且 10 岁男生 T1 区的 T% 较小。由于两年龄组总接触时间无差异,说明男生 10 岁较 7 岁 T1 区着地时间较短。女生左脚在 T1 区的 S%、L/W、P/W 有明显差异($P < 0.05$),这与年龄增长的同时女生体重增加有关。整体看在足趾 T1 区女生组年龄差异较大,男生组年龄差异较小。

3.2.3 足跖区动态压力分布与对比

从表 3 足趾五大区动态压力分布看出,两年龄组在 T% 中大致表现为 $M5 > M3 > M2 > M4 > M1$,在 S% 中大致表现为 $M5 > M2 > M1 > M4 > M3$,说明在两年龄组 M5 的 T% 及 S% 都较大。在 P_{\max} 指标中大致表现为

$M3 > M2 > M5 > M1 > M4$,M3 约受 0.5 倍体重的冲量。对足跖区各指标进行同年龄性别分析可知,10 岁组左脚在 M1 的 P_{\max} 、L/W 及 P/W 上有明显性别差异($P < 0.05$),右脚在 M2 和 M4 的 S% 上有性别差异($P < 0.05$),其它均无性别差异,说明 10 岁组在足跖区男生 M1 区左足受力较大,左右步态稳定较女生好,而 7 岁组足跖各区均有性别差异,其中 M2 区左右足的 P_{\max} 及 P/W 均有明显差异($P < 0.05$);M3 的左脚 P_{\max} 有性别差异($P < 0.05$),M3 和 M5 的右脚 P_{\max} 及 P/W 均有差异($P < 0.05$),M3 和 M5 左脚的 P/W 也有差异($P < 0.05$)。M4 区右脚的接触面积有差异($P < 0.05$)。整体看 7 岁男女差异主要集中在第二至第五跖骨区的最大压强情况上,且第二跖骨区男女差异较大,女生第二、三跖骨区最大压强较男生要大。

足跖各区动态压力左右足差异统计发现,10 岁女生左右差异较大,除 M4 区外其它各区接触面积均有明显左右差异($P < 0.05$),M1 和 M2 的 L/W 均有差异($P < 0.05$),M4 的最大压强有差异,左脚大于右脚,10 岁男生仅 M1 和 M5 区的接触面积有左右差异($P < 0.05$)。7 岁女生除 M2 区外其它各区的接触面积均有左右差异($P < 0.05$),7 岁男生主要是 M1 和 M5 区接触面积的左右差异大($P < 0.05$),说明同龄男生较女生足跖区左右差异要小,且 10 岁女生左右差异较大,差异多体现在各区的接触面积上。从两组年龄 L/W 看均有右足 M1、M2 的冲量大于左足。

从年龄差异看,足跖各区压力分布的年龄差异较大,主要是在足跖五大区的最大压强上有年龄差异。女生在 M1、M3、M5 的最大压强上有差异($P < 0.05$),男生在 M2、M3、M5 区左右脚的最大压强均有明显差异($P < 0.05$),男生左脚 M1 区和右脚 M4 区的最大压强也有年龄差异($P < 0.05$),这主要与不同年龄体重不同有关,且随年龄增长,男女生足跖区最大压强增加表现不同,女生主要是第三到第五跖骨区最大压强增加,而男生第一至第五跖骨区均有增加。另外在 M1 区的 T% 上,女生左脚有年龄差异,男生右脚有年龄差异,且 10 岁组均小于 7 岁组,整体看在前足中足跖区域受力最大,且不同年龄分布差异较大。

3.2.4 足跟区动态压力分布与对比

两组儿童足跟区动态压力特征显示,两年龄组均表现为 HM 的接触面积、接触时间、最大压强及冲量较 HL 要大,HM 区冲量约为 1 倍的体重,HL 区所受冲量约为 0.6~0.7 倍的体重。对两组进行同年龄性别分析发现,10 岁组足跟区动态压力分布无明显性

别差异,7岁组足跟两区的L/W及P/W均有性别差异($P<0.05$),且女生各特征值大于男生,这与同年龄女生体重较男生略轻有关^[12]。

表3 足跖五大分区动态压力分布($M\pm SD$)

参数	10 岁				7 岁				
	女		男		女		男		
	左足	右足	左足	右足	左足	右足	左足	右足	
M1	T%	39.86 ± 20.96 [#]	53.08 ± 23.36	50.50 ± 17.61	50.10 ± 20.96 [*]	57.00 ± 25.97	46.66 ± 21.95	54.18 ± 23.90	62.76 ± 18.50 [*]
	S%	6.26 ± 1.37 [#]	8.05 ± 1.68	6.31 ± 1.18 [#]	7.69 ± 1.50	5.87 ± 2.19 [#]	7.77 ± 2.05	5.85 ± 1.83 [#]	7.91 ± 1.41
	P _{max}	3.35 ± 2.58 ^{* #}	4.68 ± 2.67	6.28 ± 3.30 [*]	4.72 ± 2.65	5.01 ± 3.15	6.16 ± 4.29	3.85 ± 2.29	4.77 ± 2.99
	L/W	0.09 ± 0.09 ^{* #}	0.22 ± 0.23	0.19 ± 0.13	0.18 ± 0.14	0.18 ± 0.18	0.27 ± 0.31	0.14 ± 0.12 [#]	0.29 ± 0.22
	P/W	0.11 ± 0.08 ^{* #}	0.15 ± 0.09 [*]	0.19 ± 0.10	0.15 ± 0.09	0.19 ± 0.12	0.23 ± 0.15	0.15 ± 0.09	0.19 ± 0.12
M2	T%	59.17 ± 18.40	62.89 ± 14.81	58.76 ± 16.76	58.67 ± 17.04	58.94 ± 14.28	59.00 ± 14.25	56.33 ± 16.45	61.13 ± 12.09
	S%	7.07 ± 1.02 [#]	8.02 ± 1.16 [*]	7.32 ± 0.82	7.36 ± 0.99	7.57 ± 1.59	8.30 ± 1.03	7.35 ± 1.04	7.69 ± 1.25
	P _{max}	9.86 ± 4.19	10.37 ± 3.33	10.14 ± 3.87 [*]	9.30 ± 2.85 [*]	9.37 ± 4.27	9.58 ± 4.49	6.08 ± 2.77 [*]	6.29 ± 3.14 [*]
	L/W	0.37 ± 0.16 [#]	0.47 ± 0.15	0.41 ± 0.18	0.42 ± 0.15	0.43 ± 0.23	0.52 ± 0.30	0.31 ± 0.17 [*]	0.37 ± 0.19 [*]
	P/W	0.31 ± 0.13	0.33 ± 0.10	0.32 ± 0.12 [*]	0.29 ± 0.10	0.37 ± 0.16	0.37 ± 0.19	0.23 ± 0.11 [*]	0.24 ± 0.12 [*]
M3	T%	62.69 ± 15.70	63.01 ± 15.72	59.99 ± 17.46	62.01 ± 16.31	58.69 ± 15.37	60.11 ± 13.23	60.50 ± 13.08	59.05 ± 11.61
	S%	5.98 ± 0.87 [#]	6.57 ± 0.65	6.13 ± 0.95	6.25 ± 0.83	5.87 ± 1.32 [#]	6.81 ± 0.93	6.07 ± 1.15	6.62 ± 0.89
	P _{max}	14.55 ± 4.60 [*]	12.26 ± 5.58	13.18 ± 5.17 [*]	12.21 ± 2.88 [*]	11.03 ± 4.85	11.19 ± 4.98	8.67 ± 3.15 [*]	7.72 ± 4.22 [*]
	L/W	0.51 ± 0.19	0.44 ± 0.20	0.49 ± 0.20	0.47 ± 0.16	0.46 ± 0.27	0.51 ± 0.21	0.43 ± 0.19	0.41 ± 0.21
	P/W	0.46 ± 0.13	0.38 ± 0.16	0.41 ± 0.15 [*]	0.38 ± 0.09 [*]	0.43 ± 0.20	0.43 ± 0.17	0.33 ± 0.11 [*]	0.29 ± 0.15 [*]
M4	T%	52.37 ± 14.69	50.43 ± 17.24	54.84 ± 17.40	52.51 ± 15.24	54.31 ± 16.61	47.71 ± 15.96	56.63 ± 17.45	54.76 ± 18.12
	S%	6.73 ± 0.81	6.95 ± 0.78 [*]	6.50 ± 0.70	6.48 ± 0.69	6.40 ± 1.15 [#]	7.16 ± 0.80	6.46 ± 1.08	6.39 ± 0.76 [*]
	P _{max}	7.61 ± 2.88 [#]	5.36 ± 2.87	6.98 ± 3.26	6.31 ± 2.37 [*]	5.91 ± 3.31	4.59 ± 2.86	6.66 ± 4.12	4.70 ± 3.14
	L/W	0.26 ± 0.13	0.19 ± 0.16	0.27 ± 0.12	0.22 ± 0.10	0.26 ± 0.18	0.19 ± 0.12	0.33 ± 0.25	0.22 ± 0.16
	P/W	0.24 ± 0.09 [#]	0.16 ± 0.08	0.22 ± 0.10	0.19 ± 0.07	0.23 ± 0.13	0.18 ± 0.10	0.25 ± 0.14 [#]	0.17 ± 0.11
M5	T%	65.10 ± 15.22	67.27 ± 16.40	62.91 ± 18.49	64.30 ± 17.58	64.31 ± 16.61	63.33 ± 11.68	62.33 ± 13.88	61.74 ± 11.67
	S%	13.74 ± 1.70 [#]	12.22 ± 1.38	13.52 ± 1.35 [#]	12.06 ± 1.56	13.64 ± 2.29 [#]	11.49 ± 1.43	13.76 ± 1.69 [#]	11.94 ± 1.78
	P _{max}	7.38 ± 2.22 [*]	7.43 ± 3.06	6.13 ± 2.63 [*]	7.13 ± 1.75 [*]	5.37 ± 2.21	6.70 ± 2.95	4.35 ± 1.72	4.68 ± 2.68 [*]
	L/W	0.60 ± 0.22	0.52 ± 0.25	0.56 ± 0.23	0.53 ± 0.20	0.54 ± 0.27	0.56 ± 0.24	0.54 ± 0.24	0.47 ± 0.29
	P/W	0.23 ± 0.06 [*]	0.23 ± 0.08	0.19 ± 0.07	0.22 ± 0.06 [*]	0.21 ± 0.09	0.26 ± 0.11	0.16 ± 0.06 [*]	0.18 ± 0.09 [*]

注: *代表同年龄段性别有差异($P<0.05$),#代表同年龄同性别间左右足有差异($P<0.05$),※代表同性别间年龄有差异($P<0.05$)

同年龄同性别左右足对比显示,足跟两区在接触面积上均有明显左右差异($P<0.05$),10岁和7岁女生在HM区的P_{max}上均有左右差异($P<0.05$),7岁男生和女生在HL区的L/W上有左右差异($P<0.05$)。整体看7岁女生足跟区的左右脚差异较大,两组右脚足跟区的接触面积较左脚大,与受试者多为

右利腿有关^[13],且10岁组比7岁组更明显。

年龄差异对比,足跟区接触时间和接触面积上均有年龄差异($P<0.05$),且10岁组特征值均大于7岁组;在冲量方面男生足跟区冲量年龄差异较大;女生在HM区最大压强中有明显差异($P<0.05$),一是由于足跟随年龄增长面积变大,二是反映出步态中,

10 岁组足跟接触时间长,步频较慢;7 岁组足跟过渡较快。

10 岁儿童静态中重心较 7 岁儿童控制较好,可能与 7 岁儿童足弓发育不成熟有关^[14],正常足部的内侧纵弓包括跟骨、距骨、舟骨、楔骨和跖骨组成^[15],足弓作为弹性弯曲结构,可以帮助重心的平衡和保持稳定,而 6~7 岁的儿童正处于足弓结构的形成期^[16],不管男女,随着年龄的增长,足跟面积增大,与 Demirbüken I^[17]等人的研究一致。

本研究显示前足所受冲量最大与前人的研究一致,正常男孩的足后跟缓冲作用小,使前足部在行走中受到地面更大的反作用力,进而导致冲量显示出区域差异。同年龄段女生较男生更接近于成人动态足底压力情况,可能与重心调整有关,有研究指出,7~15 岁青少年静态站立时,压力中心偏向后足,重心后移可以更好地分散体重,并提供更大的支持面积,从而提高平衡性^[18]。对于左右压力不平衡的研究结果,有研究有类似发现^[19],该研究显示,7~14 岁青少年行走时,足跟部位压力主要集中在左足内侧以及右足外侧,可能与左右足骨骼发展不平衡有关。

4 结论

(1)静态站立时儿童重心落在足后区,一般在右后区,且 10 岁儿童较 7 岁儿童重心控制更好。

(2)儿童动态足底压力中,前足所受冲量最大,足跟次之,中足最小;前足中跖骨区所受冲量较大;从最大压强来看,足跟区受力最大,跖骨区受力大小大致表现为 M3>M2>M5>M1>M4;且年龄增大,足跟区和第三跖骨区受力增大,女生比男生表现更为明显。

(3)儿童步态不均衡,中足区和足跟区的左右差异大,主要表现为左脚中足区各特征值大于右脚,而在足跟区各值小于右脚,且女生表现更为明显。

(4)7 岁儿童较 10 岁儿童足跟过渡快,步频快,同年龄段女生较男生更接近于成人动态足底压力情况。

参考文献

- [1]王明鑫,俞光荣,陈雁西,等. 正常中国成年人足底压力分析[J]. 中国矫形外科杂志,2008(09):687-690.
- [2]袁刚,张木勋,王中琴,等. 正常人足底压力分布及其影响因素分析[J]. 中华物理医学与康复杂志,2004(03):30-33.
- [3]张勤良,周旭,倪朝民. 正常人足底压力分布影响因素及研究现状[J]. 中国康复,2011,26(06):443-445.
- [4]GANLEY K J,POWERS C M. Gait kinematics and kinetics of 7-year-old children; a anthropome to adults using age-sPecific anthropometric data [J]. Gait & Posture, 2005, 21 (02): 141-145.
- [5]CATAN L,AMARICAI E,ONOFREI R R,et al. The impact of overweight and obesity on plantar pressure in children and adolescents:A systematic review[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2020,17(18):6600.
- [6]晏诗阳,李若依,刘苏锐,等. 各年龄段女童足底动态压力分布的研究[J]. 中国皮革,2015,44(08):125-129.
- [7]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(04):495-499.
- [8]YAN S H,ZHANG K,TAN G Q,et al. Effects of obesity on dynamic plantar pressure distribution in Chinese prepubescent children during walking[J]. Gait & Posture,2013,37(01):37-42.
- [9]王小虹,邹晓峰. 7 岁健康男童足底压力分布特征研究 [G]//中国体育科学学会. 第八届全国体育科学大会论文摘要汇编(一). 北京:[出版者不详],2007:703-704.
- [10]王玫,邹晓峰. 7 岁健康男童裸足行走足底压力分布特征研究[J]. 吉林体育学院学报,2008(04):104-105.
- [11]MACHADO D B,HENNIG E,RIEHLE H. Plantar pressure distribution in children; movement patterns and footwear influence[J]. Rev. Bras. Biomec,2001,2(02):19-25.
- [12]闫松华,董灿,杨进,等. 性别与 BMI 对儿童动态足底压力分布的影响[J]. 医用生物力学,2010,25(05):363-368.
- [13]周安艳,李海,尹运冬,等. 正常学龄前儿童步行时的动态足底压力特征[J]. 中国临床康复,2006(24):55-57.
- [14]ZHOU A Y,LI H,YIN Y D,et al. Dynamic plantar pressure characteristics of normal children before school age in gait[J]. Chinese Journal of Clinical Rehabilitation,2006(24):67-69.
- [15]PETERSON K S,HYER C F. Surgical decision making for stage IV adult acquired flatfoot disorder[J]. Clinics in Podiatric Medicine and Surgery,2014,31(03):445-454.
- [16]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(07):1097-1098.
- [17]DEMIRBÜKEN,ÖZGÜL B,TIMURTAŞ E,et al. Gender and age impact on plantar pressure distribution in early adolescence [J]. Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, 2019,53(03):215-220.
- [18]隋心怡. 7~15 岁青少年下肢形态及足底压力分布特征研究[D]. 广州:广州体育学院,2019.
- [19]栾天峰. 11~12 岁正常儿童与肥胖儿童步行时足底压力分布特征[J]. 北京体育大学学报,2011,34(06):68-70.

[责任编辑 江国平]