

·运动人体科学·

大学生不良步态的生物力学特征及影响因素

蔡祖林, 李彦培, 王浩林, 张磊, 宋亚萍, 张秀丽

(华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 对大学生不良步态生物力学特征及影响因素进行研究, 为揭示在校大学生群体步态特点, 探讨内八步态形成的生物力学因素及机制, 和防治内八步态及其他不良步态的相关研究提供理论依据。结果显示: (1) 大学生的步向角度为 $(7.5\pm 8.4)^\circ$, 内八步态发生率为28%, 外八步态发生率为27%; 步态特点性别差异非常显著, 主要表现在步向角均值、内外八步发生率及左右不对称比例。(2) 着地时相, 正常步态足底压力中心速率最大, 内八步态最小, 外八步态介于中间; 支撑阶段, 正常步态足底压力中心速率较为均衡, 波峰出现在足支撑阶段50%位置, 内八和外八步态足底压力中心速率峰值较大, 出现在足支撑阶段65%位置。(3) 内八步态踝关节内旋、外旋肌力较正常步态弱, 内旋与外旋肌力比值高于正常步态; 外八步态内外旋肌力比值显著低于正常步态。(4) $30^\circ/\text{s}$ 和 $120^\circ/\text{s}$ 两种角速度内旋与外旋平均力矩比值与步向角度呈弱负相关, 且具有显著性。(5) 内八和外八步 FMS 评分(14.5 和 13.4)显著低于正常步态者(16.9分)。(6) 内八步态动态平衡稳定性较正常步态差, 且具非常显著性; 外八步态者动态平衡稳定性与正常步态相近。研究表明: (1) 大学生步态性别差异具有非常显著性。结合前期儿童内八步态研究结果认为: 在不进行干预的情况下, 内八步态不会随着身体的发育而自然消失。(2) 大学生内八步态的足底压力中心分布不合理, 相比正常步态有压力后移趋势, 不能有效利用足弓的缓冲作用, 着地时足跟处受到更大的压力, 离地时支撑点不能移到大拇趾处而获得理想的蹬地效果, 外八步态与正常步态在足底压力中心分布上无显著性差异。(3) 大学生内八步态是多方面生物力学因素所造成的, 包括人体运动链存在薄弱环节较多、本体感觉较差、下肢肌肉力量弱及下肢关节旋外灵活性差等。(4) 外八步态的形成原因, 并非简单的与内八步态相反, 而是有其独特的生物力学机制, 有待于更多研究进行探讨。

关键词: 运动生物力学; 步向角; 足底压力中心; 等动肌力; 功能性动作筛查; 大学生

中图分类号: G804.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2017)04-0133-07

Biomechanical characteristics and affecting factors of undesirable gaits of university students

CAI Zu-lin, LI Yan-pei, WANG Hao-lin, ZHANG Lei, SONG Ya-ping, ZHANG Xiu-li

(School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The authors studied the biomechanical characteristics and affecting factors of undesirable gaits of university students, so as to provide a theoretical basis for revealing the gait characteristics of university students on campus, for probing into the biomechanical factors and mechanism of toe-in gait formation, and for researches in relation to preventing and treating toe-in gait and other undesirable gaits. The results show the followings: 1) university students' step angle is $(7.5\pm 8.4)^\circ$, their toe-in gait occurrence rate is 28%, their toe-out gait occurrence rate is 27%; the gender differences of gait characteristics are very significant, mainly showing in step angle mean value, toe-in and toe-out gait occurrence rates, as well as left and right asymmetry percentage; 2) at landing, normal gait's plantar

收稿日期: 2016-09-06

基金项目: 2015年广东省教育教学(高等教育)成果奖培育项目(20140345); 2015年度校级质量工程项目教学团队(20150505); 2016年校级“质量工程”建设项目(20160201); 儿童青少年身体运动功能训练研究(20161307)。

作者简介: 蔡祖林(1988-), 男, 硕士, 研究方向: 人体运动分析与损伤预防。E-mail: 231692048@qq.com 通讯作者: 张秀丽

pressure center trace velocity is the highest, the toe-in gait's is the lowest, the toe-out gait's is somewhere in between; at the supporting stage, normal gait's pressure center trace velocity is balanced, the peak appears at the 50% position of the foot supporting stage, toe-in gait's and toe-out gait's plantar pressure center trace velocity peaks are higher, appearing at the 65% position of the foot supporting stage; 3) toe-in gait's angle joint intortor strength and extortor strength are weaker than normal gait's, its ratio of intortor strength to extortor strength is higher than normal gait's; toe-out gait's ratio of intortor strength to extortor strength is significantly lower than normal gait's; 4) at the angular speeds of 30°/s and 120°/s, the ratio of intorsion mean moment to extorsion mean moment is weakly negatively correlative with step angle, and significantly; 5) toe-in and toe-out gaits' FMS scores (14.5 and 13.4) are significantly lower than normal gait's (16.9); 6) toe-in gait's dynamic balance stability is poorer than normal gait's, and very significantly; toe-out gait's dynamic balance stability is close to normal gait's. This research shows the followings: 1) the gender differences of gaits of university students are very significant; coupled with children toe-in gait research results derived earlier, it is concluded that when not intervened, toe-in gait will not naturally disappear as the body develops; 2) the plantar pressure center distribution of toe-in gait of university students is irrational, the pressure tends to move backward as compared with normal gait's, toe-in gait is unable to effectively utilize foot arch's buffer function, the heel suffers greater pressure at landing, the supporting point was unable to move to the hallux to achieve an ideal ground hitting effect at lifting; there is no significant difference between toe-out gait and normal gait in terms of plantar pressure center distribution; 3) toe-in gait of university students is caused by multiple biomechanical factors, which include various weak links existing in the body movement chain, poor proprioception, weak lower limb muscle strength, poor lower limb joint extorsion flexibility etc; 4) toe-out gait's formation reason is not simply opposite to toe-in gait's, provided with its own unique biomechanical mechanism, needed to be further probed into by more researches.

Key words: sports biomechanics; step angle; plantar pressure center; isokinetic muscle strength; functional movement screening; university student

随着社会的发展,人们对不良步态的关注程度越来越高,不仅成为儿童青少年家长关心的热点问题,也备受在校大学生的关注,这在经济发达地区尤为明显。2011年9-10月,本研究团队在广州市各大医院儿童足科跟随测试的结果表明,200名3-10岁儿童中被确定为内八步态的有46名,占23%,其中90%以上的家长有矫正的愿望。本研究团队2014年对450名文科、理科、体育学院在校大学生进行问卷调查的结果显示:80%以上大学生认为不良步态会影响理想就业,甚至降低择偶标准;超过60%的人对不良步态的认识存在误区;最不能接受的不良步态依次为O型腿(68.8%)、内八步态(60.1%)、X型腿(58.5%)^[1]。然而,国际上对内八步态的研究主要集中在下肢骨骼关节的解剖学特点和矫形器矫正治疗方面,把内八步态看作与下肢形态相关的疾患,由医院诊断并运用矫形器进行矫正,而对内八步态形成的生物力学原因及机制尚未达成一致意见。有人认为随着年龄的增长,多数内八步态会自行改善,有人认为不采取矫正措施会导致其他不良姿态的形成^[2-3]。本研究运用足底压力、等动肌力、功能性动作筛查等方法,对在校大学生进行步态、下肢等速肌力及功能性动作筛查等方面的测试,旨

在探讨内八步态形成的生物力学因素及机制,为内八步态的预防和矫正提供理论依据。

1 研究对象与方法

1.1 受试对象

2014年1-12月,在华南师范大学大学城校区随机对124名在校大学生进行步态测试,从受试者中募集内八、外八、正常步态男女各10名,进行下肢等动肌力、功能动作筛查、动态平衡等测试。经单因素方差 T 检验表明,受试者在年龄、身高、体重方面没有显著性差异。

1.2 研究方法

1)步态测试。

平放于地面的RScan测力板(0.5 m, 300 Hz),上铺延长EVA辅道,防止受试者刻意踏板而改变步态。首先,让受试者目视前方在测力板辅道上行走,进行适应性练习,直至步态自然;然后,正式测量左、右足3次的有效数据。测试指标:步向角、足底压力等。

步向角(Progressive angle):行进方向直线与足跟中点和第2跖骨连线形成的夹角,“+”表示足向外偏离行进方向,“-”表示足向内偏离行进方向^[4]。受试者

个人步向角取3次有效数据的平均值。

足部分区:为了便于对比分析,按国际惯例将足部分3个区域:FF(足前部)、MF(足中部)、RF(足后部)。

2) 下肢等动肌力测试。

受试者穿运动鞋、裤,5 min 热身后,由经验丰富的实验员指导,在 Cybex-NORM 等动肌力测试系统上进行适应性练习,直至受试者感觉动作自然流畅,然后进行正式测试。受试者平躺于测试床,膝关节伸直,用固定带固定身体,足跟对准仪器轴心,足底贴合仪器,测试左、右踝关节旋内、旋外角速度分别为 $30^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ 时的等动肌力指标。每个角速度重复测试5次,取平均值,两种速度测试之间间隔20 s 以上,左右侧测试时间间隔10 min 以上。

3) 功能性动作筛查(FMS)。

受试者依次完成7个基本动作(举棒深蹲、肩扛棒跨栏、弓步下蹲、肩部灵活性、单侧直腿上抬、躯干稳定性、旋转稳定性)和3个确认动作。由经过培训且有评分经验的2名测试人员分别从被试者的正面和侧面进行观察,根据评分标准^[5-6]进行评分,并详细记录

被试者动作模式特点。

4) 动态平衡测试。

测试在安静、光线均匀、宽敞的房间进行。受试者正式测试前进行适应性练习,熟悉踏步节奏。如图1所示,受试者双脚并拢,标记两足跟与足尖的初始位置,分别连接左右足跟中点 A 和 B , 左右足尖 C 和 D , 左足跟中点 A 与右足尖 D 、左足尖 C 与右足跟中点 B , 把两线段 AD 和 BC 的交叉点 O 设为原点。然后让受试者站在初始位置,戴上眼罩和耳机原地踏步1 min(播放频率为120 Hz 的节拍器节奏的MP3,与耳机连接,夹在被试者背后腰部附近,以不影响动作为原则)。受试者踏步结束,耳机提示受试者保持静止不动,等测试人员在地面标记。测试者按照以上程序重新标记左右足的位置,确定 O' 的位置。然后用量角器测量 AB 和 $A'B'$ 延长线的夹角 α , 用钢卷尺测量 OO' 的长度(位移大小)。角度方向规定:向左旋转逆时针为“+”,向右旋转顺时针为“-”。每人测量3次,取3次中偏移角度和偏移幅度最小值。期间不暂停,不受外界声、光等因素干扰。

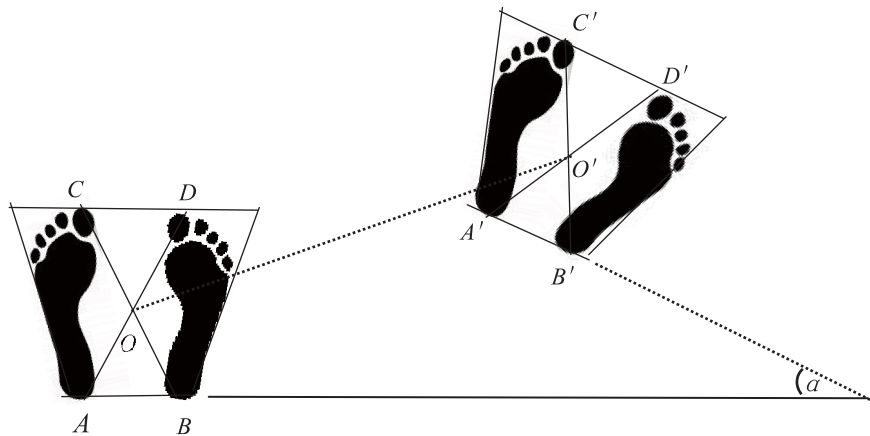


图1 1 min 闭眼原地踏步测试示意图

5) 数理统计法。

排除受试者标准:年龄小于18岁,近6个月有下肢病症者或下肢有外科手术史者。3种步态分析前,剔除数据不全者4名,采用SPSS19.0软件进行相关统计学分析。组间差异用独立样本 T 检验或单因素方差分析,数据用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,百分比的显著差异性用卡方检验。 $P < 0.05$ 差异具有显著性, $P < 0.01$ 差异具有非常显著性。

2 研究结果及分析

2.1 内、外八步态发生率

对124名在校大学生的步态测试结果显示:在校大学生的步向角度为 $(7.5 \pm 8.4)^{\circ}$ 。按照 Chin-Shan 对

正常步态的界定(步向角的正常范围为平均数加减1个标准差)^[9],本研究以单侧或双侧步向角小于 -1° 为内八步态,大于 16° 为外八步态;左右侧不对称性以每人左右两侧步向角差值是否超过标准差 8.4° 为依据。测试结果显示:(1)在校大学生内八步态有35名,发生率为28.2%,外八步态33名,发生率为26.6%。(2)男、女大学生步向角均左侧大于右侧,不具显著性,但左右不对称比例分别为12.8%和43.6%,具有非常显著性。(3)男、女大学生步态性别差异非常显著。一方面,男生步向角左右侧均大于女生,导致男性外八步态发生率高,女生内八步态发生率高;另一方面,女生左右不对称发生率显著高于男生(见表1)。

表 1 大学生不良步态特点

性别	n/人	步向角/(°)		比例/%		
		左	右	内八步态	外八步态	左右不对称
男	58	13.4±7.0	11.4±8.0	2.6	56.4	12.8
女	66	5.1±8.5 ¹⁾	3.6±8.0 ¹⁾	48.5 ¹⁾	17.9 ¹⁾	43.6 ¹⁾

1)与男生比较, $P<0.01$

研究表明,在校大学生步向角范围为 $(7.5 \pm 8.4)^\circ$,与Chin-Shan^[3]对7岁左右儿童的研究结果基本一致,说明7岁左右步态基本定型。比课题组前期研究成果,儿童内八步态23%的发生率、大学生28%的内八步态发生率偏高,间接说明在没有干预的情况下,儿童内八步态自我矫正的几率几乎为零,如果生活、学习中有不良动作习惯,还会导致内八步态发生率提高。

本研究还发现,步态特点性别差异存在非常显著性:(1)男生双侧步向角均大于女生且有非常显著性,这一结果与张秀丽等^[7]“男性大学生步向角较大,外八步态发生率较高;女大学生步向角较小,内八步态发生率较高”的观点相一致。儿童步态特点与发育特点有关,大学生步态特点的形成与中国传统文化、观念及由此产生的行为习惯密切相关。一般认为,男性走路时足外展是男子汉、霸气的象征,女子走路足内收则是淑女、有修养的象征。(2)左右不对称发生率较高,且女生明显高于男生。人体是一个整体关节链,左右侧步向角不一致会造成身体其他部位的不对称,如果进行高强度的运动,那么急、慢性损伤风险就会增加。因此,左右侧步向角差异程度较大的学生需要进行矫正。

2.2 不同步态足底压力特征

1)足底压力中心(COP)移动轨迹特征。

图2中虚线为COP轨迹(实线为步向角的判断标志线,足跟中与第2跖骨的连线),展示足底压力步行支撑阶段不同步态的形状特点。(1)整体形状:正常步态的COP移动轨迹成平滑的弧弓,外八步态弧弓更大,且压力轨迹不如正常步态平滑,内八步态呈直线状态,没有弧度或弧度很小。(2)后跟着地时相:正常步态COP移动轨迹呈现“勾”状弯曲,内八步态无

“勾”。(3)全足支撑阶段:正常步态COP移动轨迹呈平滑弧线型从足跟向足外侧转移后,又回到足前中部,内八步态则呈直线状态过度到中足,压力中心轨迹较陡直,外八步态的弧度较大且不如正常步态平滑。(4)蹬离地面时相:正常步态COP移动轨迹平稳过渡到前足中部后转向第1趾,内八步态在第3跖骨处有一个明显的折角,之后转向第1趾,外八步态在该时相与正常步态类似。

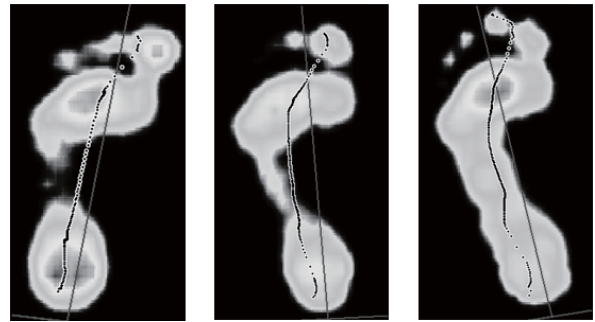


图 2 内八(左)、正常(中)、外八(右)步态 COP 移动轨迹

2)足底冲量特点。

行走过程中,足底各区域所受冲量是重点关注的指标。但由于体重等个体性差异较大,本研究中足前、足中、足后部的冲量用相对于全足的相对值表示。如表2所示,内八步态足前部冲量比显著低于正常步态和外八步态,但正常和外八步态之间的差异不具显著性;内八步态足中部冲量比高于另外两组,与正常步态相比差异不具显著性,与外八步态差异有显著性。足后部占比,内八步态高于另外两组,与正常步态相比有显著性差异。

表 2 足底冲量特点(相对值)($\bar{x} \pm s$)

步态	n/人	足前部(FF)	足中部(MF)	足后部(RF)	%
正常	47	58.56±9.79	11.05±4.91	30.38±8.22	
内八	34	52.69±6.44 ²⁾	13.29±5.93	34.37±6.67 ¹⁾	
外八	31	59.74±10.05 ⁴⁾	9.29±3.93 ³⁾	30.97±10.86	

1)与正常步态比较, $P<0.05$; 2)与正常步态比较, $P<0.01$; 3)与内八步态比较, $P<0.05$; 4)与内八步态比较, $P<0.01$

内八与外八步态同属不良步态,其相同点:足底压力中心移动速率峰值均较正常步态大,出现较晚且均在支撑阶段65%处。不同之处:(1)足跟着地阶段,

正常步态和外八步态较相似,其压力中心移动轨迹较长且呈曲线,移动速率较大,使得足跟部压力更为分散;内八步态压力中心移动轨迹较短,移动速率较小,

其足跟部压力更为集中。(2)全支撑阶段,正常步态压力中心移动轨迹是一条平滑的弧线,分布更为均匀,以较小且稳定的速率从足跟部平滑过渡到足中及前部,而内八步态是直线过渡到足中及前部;以较大速率过渡到足前部后速度突然降低,压力中心在足前部处缓慢移动,不能充分利用足底内外侧纵弓的缓冲作用。(3)足底不同区域所受冲量有合理的比例,相比正常步态和外八步态,内八步态足跟处尤其是足跟内侧冲量及峰值压强都较大,而外八步态的足底冲量分布特点与正常步态相似。

2.3 不同步态下肢等速肌力特点

1)下肢等速肌力力矩。

如表3所示,内八步态30^o/s旋内峰力矩,平均力矩均小于正常步态且差异具显著性;旋外峰力矩与旋外平均力矩内八均小于正常和外八步态,且具非常显著性;内八步态120^o/s旋内峰力矩、平均力矩小于正常步态,且差异显著,旋外峰力矩、旋外平均力矩小于正常步态和外八步态,且平均力矩都具有显著性;外八与正常步态相比无显著性差异。

表3 角速度30、120^o/s下肢等速肌力力矩($\bar{x} \pm s$)

测试速度/(^o ·s ⁻¹)	步态	n/人	Nm/kg ⁴			
			旋内		旋外	
			峰力矩	平均力矩	峰力矩	平均力矩
30	正常	47	0.253±0.076	0.211±0.082	0.302±0.084	0.255±0.083
	内八	34	0.207±0.053 ²⁾	0.175±0.054 ¹⁾	0.244±0.073 ²⁾	0.199±0.072 ²⁾
	外八	31	0.243±0.072	0.198±0.063	0.325±0.087 ³⁾	0.273±0.084 ³⁾
120	正常	47	0.203±0.056	0.182±0.067	0.245±0.061	0.204±0.077 ³⁾
	内八	34	0.176±0.046 ¹⁾	0.149±0.051 ¹⁾	0.187±0.055 ²⁾	0.133±0.065 ²⁾
	外八	31	0.200±0.065	0.164±0.055	0.251±0.077	0.221±0.094 ³⁾

1)与正常步态比较, P<0.05; 2)与正常步态比较, P<0.01; 3)与内八步态比较, P<0.05; 4)单位体质量力矩

2)下肢旋内、旋外等速肌力矩比例特点。

表4数据表明,在测速速度为30^o/s时,内八步态峰力矩比值、平均力矩比值均值在3组中最大,且和外八步态比较具有显著性差异。外八步态峰力矩旋内旋外比值和平均力矩旋内旋外比值小于正常步态,且具有非常显著性。在测试速度为120^o/s时,峰力矩旋内旋外比值、平均力矩旋内旋外比值,内八步态大于正常和外八步态,都具有显著性;正常步态均大于外八步态,但差异没有显著性。

表4 下肢旋内与旋外等速肌力矩比测试结果($\bar{x} \pm s$)

测试速度/(^o ·s ⁻¹)	步态	n/人	峰力矩比	平均力矩比
30	正常	47	0.86±0.19	0.84±0.23
	内八	34	0.88±0.19	0.92±0.20
	外八	31	0.75±0.14 ²⁾³⁾	0.73±0.14 ²⁾³⁾
120	正常	47	0.84±0.15	0.84±0.20
	内八	34	0.97±0.19 ¹⁾	1.03±0.31 ¹⁾
	外八	31	0.81±0.17 ³⁾	0.75±0.18 ³⁾

1)与正常步态比较, P<0.05; 2)与正常步态比较, P<0.01; 3)与内八步态比较, P<0.05

以性别作为控制变量,对旋内、旋外等速肌力矩比值与步向角度进行相关性分析,结果显示:在测试速度为30^o/s时,平均力矩比值与步向角度的相关系数为-0.290(P<0.01);当测试速度为120^o/s时,平均力矩比值与步向角度的相关系数为-0.287(P<0.01)。

3)下肢旋内、旋外关节活动幅度。

如表5所示,下肢关节在旋内、旋外关节活动幅度总体中比较,正常步态最高,内八步态次之,外八步态最低,但差异均不具显著性。旋外关节活动幅度方面,内八步态低于正常步态且具非常显著性,而旋内关节活动幅度3组之间差异不具显著性。

表5 下肢旋内、旋外关节活动幅度($\bar{x} \pm s$) (°)

步态	n/人	总体	旋外	旋内
正常	47	71.44±8.57	37.76±6.20	32.65±5.26
内八	34	66.47±10.95	33.87±7.01 ¹⁾	32.29±6.48
外八	31	64.50±29.79	36.88±6.61	32.08±3.86

1)与正常步态比较, P<0.01

本研究显示:相比正常步态,(1)内八步态旋内和旋外等速肌力矩,不论是在30^o/s还是在120^o/s测试速度时都较小,且差异具有显著性,这和本课题组的前期相关研究结果一致:内八步态下肢肌力比正常步态肌力更为孱弱^[7];而外八步态30^o/s和120^o/s角速度的旋外、旋内力矩均与正常步态接近,但均没有显著性差异。(2)内八、外八步态旋内或旋外力矩比值均与正常步态有显著性差异。相关分析结果表明,步向角与30^o/s和120^o/s两种角速度旋内或旋外平均力矩比值呈弱相关(R=-0.287和R=-0.290)且存在非常显著性。(3)内八步态的下肢关节旋外关节活动幅度较正常步态小,且差异具非常显著性,外八与正常步态的差

异不具显著性。建议：对内八步态的矫正，一方面，应注重旋内、旋外肌力同时加强的基础上提高下肢旋外肌力；另一方面，需要采取有效方法提高下肢各关节旋外关节活动幅度。

2.4 内八步态 FMS 评分特点

表 6 显示：(1)正常步态 FMS 总分显著大于内八和

外八步态，内八和外八步态之间无显著性差异；(2)正常步态举棒深蹲、肩扛棒跨栏、弓步下蹲 3 个动作评分均显著高于其余两组；(3)躯干稳定性动作评分，正常步态高于内八步态且具非常显著性，但与外八步态没有显著性差异；(4)内八步态单侧直腿上抬动作评分显著高于正常和外八步态。

表 6 功能性动作筛查评分 ($\bar{x} \pm s$) 结果

步态	n/人	举棒深蹲	肩扛棒跨栏	直线弓步下蹲	肩部灵活性
正常	17	2.8±0.4	2.4±0.5	2.9±0.4	2.7±0.5
内八	20	1.8±0.7 ²⁾	1.8±0.7 ¹⁾	2.2±0.5 ²⁾	2.7±0.6
外八	19	2.0±0.7 ⁴⁾	1.8±0.7 ⁴⁾	2.4±0.8 ³⁾	2.9±0.3
步态	n/人	单侧直腿上抬	躯干稳定性	旋转稳定性	总分
正常	17	1.8±0.6	2.4±0.7	1.9±0.3	16.9±1.4
内八	20	2.3±0.6 ¹⁾	1.0±0.2 ²⁾	1.7±0.5	13.4±1.8 ²⁾
外八	19	1.7±0.7 ³⁾	2.0±0.9	1.8±0.4	14.5±2.8 ⁴⁾

1)与正常步态比较, $P<0.05$; 2)与正常步态比较, $P<0.01$; 3)与内八步态比较, $P<0.05$; 4)与内八步态比较, $P<0.01$

FMS 以日常生活、休闲娱乐、体育项目等身体运动中的基本动作为主要内容，以受试者完成动作模式是否符合生物力学原理为评分标准，通过 7 个基本功能动作判断人体运动链中存在的薄弱环节，发现潜在的伤病风险，为进行个性化体育锻炼和训练提供依据。本研究显示，内八、外八同属不良步态并表现出相同特点：功能性动作筛查评分分别为 13.4 分和 14.5 分，与正常步态 16.9 分具显著性差异。这一结果表明：一方面，内八、外八步态的形成不仅与下肢因素有关，而且与人体更多的薄弱环节相关，通过矫正动作提高 FMS 评分可以作为内、外八步态改善的方法之一；另一方面，如果参加同样强度的体育活动，内、外八步态者发生伤病的可能性更大。

与正常步态相比，内八步态者有 5 个动作的评分较低，分别是举棒深蹲、肩扛棒跨栏、直线弓步下蹲、单侧直腿上抬和躯干稳定性。其中，举棒深蹲、肩扛棒跨栏、直线弓步下蹲 3 个动作，包括日常生活及各种体育活动中下肢支撑完成的 3 种模式：双足左右站立、单足站立及双足前后站立，单侧直腿上抬反应髌屈灵活性，躯干稳定性反应核心力量的强弱。

深蹲动作以双足左右支撑站立完成，是日常生活中的基本动作元素。该动作要求下蹲过程中身体保持稳定，棒置于头上，膝关节不出现内扣现象，前移不超过足尖。内八步态的均分为 1.8 分，外八步态为 2.0 分，均显著低于正常步态的 2.8 分。内八低分的原因主要是下蹲过程中双膝内扣，这会导致髌骨和膝关节附属韧带负荷较重，软骨及半月板受力不均，在时间延长或外部负荷加大的情况下，急慢性运动损伤风险会增大。肩扛棒跨栏步以单足支撑站立完成，要求躯

干正直、身体平衡稳定的同时，对侧下肢抬起一定的高度并能控制地还原，日常生活中的走、跑、跳等都以这个动作为基础。内八和外八步态的均分均为 1.8 分，显著低于正常步态的 2.4 分。低分的主要原因多为摆动腿膝关节内扣或外展，躯干左右摇晃或肩部左右旋转。直线弓步以双足前后分立支撑完成，要求受试者下蹲过程中身体稳定，头、躯干、骨盆保持功能解剖中立位，对核心力量和下肢关节灵活性有一定的要求。内八和外八步态分别为 2.2 分和 2.4 分，显著低于正常步态组的 2.8 分。内八步态者低分的主要原因是动作完成过程中躯干不能保持稳定，左右摇晃。

综合肩扛棒跨栏和直线弓步下蹲两个动作特点可以推断：相对正常步态者，内八和外八步态者完成有单足支撑动作任务的经济性和表现力可能会较差，如相同时间内跑步距离、相同距离跑步用时、相同时间和距离以及受伤几率等，均有待于进行后续研究。

躯干稳定性要求受试者做一个标准俯卧撑，即要求受试者躯干保持平板的情况下，双臂肘关节伸直撑起。内八步态均分仅为 1.0 分，低于正常步态 2.4 分，差异非常显著，说明内八步态的形成不仅是下肢因素所造成，核心力量强弱、躯干稳定性大小也是主要原因。与其他动作评分结果不同，单侧直腿上抬动作内八步态评分显著高于正常和外八步态，即相对于正常和外八步态，内八步态者的髌关节屈曲灵活性较好。由于缺乏这方面的研究资料，尚不能对这一现象做出解释，有待进一步深入探讨。

2.5 内八步态动态平衡特点

如表 7 所示，内八步态动态平衡能力较正常步态和外八步态差，表现在闭眼 1 min 原地踏步走过程中

的偏移和旋转均较大。偏移距离,内八步态最大,正常步态次之,外八步态最短,但无显著性差异;旋转角度方面,内八步态也是最大的,且与正常步态具有显著性差异。

表7 平衡稳定性测试结果($\bar{x} \pm s$)

步态	n/人	踏步偏移距离/cm	踏步旋转角度/(°)
正常	17	72.5±28.7	23.2±9.3
内八	20	78.3±24.1	42.5±14.5 ¹⁾
外八	19	71.7±27.9	26.3±12.1

1)与正常步态比较, $P < 0.05$

1 min 闭眼原地踏步属于无干扰自动平衡检测,在排除视力情况下对受试者动态平衡能力进行测试。影响人体平衡能力的因素很多,可分成内因和外因,重心、稳定角和支撑面等为外因,性别、体重、年龄、视觉、前庭感受器、本体感觉和骨骼肌力量等为内因。本研究中1 min 闭眼原地踏步受试者均为医学上的健全人,体重、性别、年龄差异均不具显著性,戴眼罩排除了视觉因素,走路对肌肉力量要求不高。因此,本研究的动态平衡测试检测的主要是受试者的本体感觉和前庭感受能力。内八步态者动态平衡能力较正常步态者差,主要体现在偏移角度;3种步态方面,内八步态最大,与正常步态相比差异具显著性。在踏步的过程中,主观意识在保持踏步动作的完成一致性,但是本体感觉及前庭功能的薄弱,致使每一次踏步之间产生的微小差异不易被感知到,导致踏步持续偏转和偏移。

综上所述:一方面,外八与内八步态同为不良步态,有相同的特点,如足底压力中心移动速率峰值出现较晚,功能性动作筛查评分均较低等。另一方面,两者的生物力学特点不是简单的相对或相反,外八的很多特点与正常步态相似或相近,如足底冲量分布、下肢肌力、关节灵活性、动态平衡稳定性等。这也意味着影响外八的生物力学因素及形成机制与内八步态不同,需要更多的深入研究。

参考文献:

[1] 魏春琴. 大学生步态调查分析与特点研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2016.

[2] CHARRETTE M. Do children need corrective footwear?[J]. *Dynamic Chiropractic*, 2003, 21(2): 1-4.

[3] CHIN-SHAN C L. Foot progression angle and ankle joint complex in preschool children[J]. *Clinical Biomechanics*, 2000, 15: 271-277.

[4] IVANENKO Y, DOMINICI N, CAPPELLINI G, et al. Kinematics in newly walking toddlers does not depend upon postural stability[J]. *J Neurophysiol*, 2005, 94(23): 754-763.

[5] COOK G, BURTON L. The use of fundamental movements as an assessment of function- part1[J]. *North A J Sports Phys Ther*, 2006, 1(2): 62-72.

[6] COOK G, BURTON L. The use of fundamental movements as an assessment of function-part 2[J]. *North A J Sports Phys Ther*, 2006, 10(4): 132-139.

[7] 张秀丽, 魏春琴, 蔡祖林. 大学生步态特点与踝关节等动肌力的相关性研究[J]. *体育科研*, 2014, 35(1): 50-53.

[8] DIERICK F, LEFEBVER C. Development of displacement of center of mass during independent walking in children[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2004, 46(8): 533-539.

[9] 曹丹丹, 张秀丽, 杜高山. 儿童内八足底压力特点及矫正效果探析[J]. *体育科学*, 2014, 34(4): 78-83.

[10] 李凯, 元文学, 孟昭莉. 儿童步态的研究进展[J]. *体育科学*, 2009, 28(10): 72-75.

[11] 李世明, 石凤莉. 不同走步姿态的运动生物力学对比分析[J]. *天津体育学院学报*, 2007, 22(6): 504-508.

[12] 孙莉莉. 美国功能动作测试(FMS)概述[J]. *体育科研*, 2011, 32(5): 29-32.

[13] 张秀丽. 基于儿童足部发育规律及步态特征的6-10岁童鞋设计原则[J]. *体育学刊*, 2011, 18(4): 141-144.

[14] 何跃春, 邝悦权, 张秀丽. Flexi-bar 振动棒功能性练习对体育舞蹈教学效果的影响[J]. *体育学刊*, 2015, 22(4): 71-75.

[15] 张秀丽, 陈宝玲, 杜高山. 立定跳远落地姿态合理性探讨[J]. *体育学刊*, 2014, 12(6): 129-133.