

doi:10.19677/j.issn.1004-7964.2024.06.012

鞋跟高度与穿着经验对青年女性下楼梯动态稳定性的影响

闫晓芹¹, 赵春燕¹, 孙威², 王疆娜^{2*}

(1. 山东体育学院研究生教育学院, 山东 济南 250102; 2. 山东体育学院运动与健康学院, 山东 济南 250102)

摘要:为探讨鞋跟高度与穿着经验对青年女性下楼梯身体动态稳定性的影响,采用 Vicon 红外运动捕捉系统和三维测力台同步采集 20 名有穿着经验和 20 名无穿着经验的青年女性穿着 1、3、5、7 cm 四种高跟鞋下楼梯的身体稳定性参数。使用双因素重复测量方差分析对数据进行统计分析。结果显示,与有穿着经验组相比,无穿着经验组在前后方向的动态稳度显著减小;与 1 cm 平跟鞋相比,穿 5 cm 和 7 cm 高跟鞋时内外侧方向的动态稳度、质心-压心距离和质心-压心倾斜角均显著减小。结果表明,鞋跟高度增加,年轻女性下楼梯时内外侧方向的身体动态稳定性下降、跌倒风险增大,有穿着经验者的身体稳定性更好。

关键词:高跟鞋;稳定性;鞋跟;跟高;穿着经验;动态;青年女性

中图分类号:TS 943.3 **文献标志码:**A

Effects of Heel Height and High-heeled Shoes Wearing Experience on Dynamic Stability of Young Female During Stair Descent

YAN Xiaolin¹, ZHAO Chunyan¹, SUN Wei², WANG Jiangna^{2*}

(1. College of Graduate Education, Shandong Sport University, Jinan 250102, China; 2. College of Sports and Health, Shandong Sport University, Jinan 250102, China)

Abstract: In order to explore the effects of heel height and wearing experience on dynamic stability during stair descent in female, the Vicon motion capture system and AMTI force platform were used to collect the body stability parameters of 20 inexperienced and 20 experienced high-heeled shoes (HHS) young women wearers when they walked down the stairs in four kinds of high heels (1, 3, 5, 7 cm). The data was analyzed statistically by using Two-way repeated measures ANOVA. The results showed that compared with the experienced HHS wearers, the margin of stability (MoS) in the anterior-posterior (AP) direction was significantly decreased of the inexperienced HHS wearers. Compared with 1 cm flat shoes, the MoS, separation between the center of mass (CoM) and center of pressure (CoP) and CoM - CoP inclination angle in the medio-lateral (ML) direction were significantly decreased of the 5 cm and 7 cm high heels shoes. The results showed that with the increase of heel height, the dynamic stability of the body in the ML direction decreased and the risk of falling increased, and the body stability was better of the experienced women.

Key words: high heels; stability; heel; heel-height; wearing experience; dynamic; young female

引言

高跟鞋是女性日常生活最常穿着的鞋款之一,但研究发现,长期穿着高跟鞋会改变人体正常姿

态,并导致下肢骨骼肌肉系统损伤等危害^[1]。流行病学研究发现,高跟鞋引发的脚踝扭伤、拉伤及骨折等损伤发生率在十年间从 5.8%增长至 11.5%^[2]。楼梯行走是引发青年女性穿着高跟鞋身体稳定性下降、导致跌倒的重要原因之一。据调查,楼梯行走的跌倒发生率约占总跌倒次数的 26%,其中下楼梯的跌倒风险是上楼梯的 3 倍^[3]。因此,探究穿高跟鞋下楼梯行走引发的身体稳定控制下降问题对预防跌倒、减少损伤具有重要意义。

鞋跟高度是影响行走稳定性的重要因素之一。

收稿日期:2024-03-27 修回日期:2024-05-20 接受日期:2024-05-21
基金项目:山东省自然科学基金(ZR2020QC091);济南市市校融合发展工程战略项目(JNSX2023088)
第一作者简介:闫晓芹(1997-),女,硕士生,主要研究方向:运动生物力学。E-mail:yanxiaolin97@163.com。
* 通信作者:王疆娜(1986-),女,硕士,副教授,主要研究方向:运动与姿势控制。E-mail:tsjywjn2018@126.com。

由于鞋跟高于前脚掌的特殊结构设计,人体穿着高跟鞋站立时,脚后跟抬高会使身体重心前移,身体重心(center of mass, CoM)在垂直方向上的活动范围增加,从而导致身体稳定性下降^[4]。研究表明,随着鞋跟高度的增加,人体在平地行走时踝关节活动范围减小,平衡能力和身体功能活动能力下降^[5]。已有研究发现,超过7 cm的高跟鞋显著降低人体站立平衡能力及身体稳定性,增加跌倒和足踝扭伤的风险^[6]。尽管如此,目前鞋跟高度对人体稳定性的影响多集中于站立与平地行走动作^[7-8],关于对下楼梯行走稳定性影响的研究尚需进一步探讨。

穿着经验可能是影响身体动态稳定性的又一重要因素。研究发现,长期穿着高跟鞋会导致腓肠肌内侧肌束缩短、跟腱硬度增加,使踝关节活动范围减少^[9]。有高跟鞋穿着经验人群穿高跟鞋在平地行走时腓肠肌肌肉活动强度增加^[10],质心和压力中心(center of pressure, CoP)的偏移范围较小,单支撑相表现出更保守和更稳定的身体控制^[11]。然而,大多数有关高跟鞋穿着经验的研究集中在步态的神经肌肉控制特征,对身体动态稳定性影响的研究较少。

传统的生物力学研究多以隔离的人体 CoM、CoP 晃动幅度、移动速度等单一指标评估动作稳定性^[6,12],对楼梯行走动态稳定性评估缺乏精准性。综述研究发现,近年来,联合人体 CoM、CoP 的质心与压力中心最大距离(the max separation between center of mass and center of pressure, CoM-CoP Max)、质心与压力中心倾斜角(the inclination angle between center of mass and center of pressure, CoM-CoP IA)等评估指标被用于人体下楼梯行走时身体动态稳定性评估^[13-14]。此外,Hof 等^[15]将 CoM 在水平支撑面(base of support, BoS)的垂直投影位置加上 CoM 速度与人体倒钟摆频率的比值定义为外推质心(extrapolated center of mass position, CM),CM 到 BoS 边界的最小距离定义为动态稳度(margin of stability, MoS)。该指标综合量化了 BoS、CoM 速度和 CoM 位置这三个因素对身体稳定性影响,已被应用于评估健康老年人及中风后偏瘫患者等人群在平地行走时的动态稳定性^[16-17]。综上,CoM-CoP Max、CoM-CoP IA 及 MoS 等综合指标,能较好地量化人体 CoM 与 BoS 之间的位置关系,评估楼梯行走过程中人体的动态稳定性,但关于高跟鞋对楼梯行走动态稳定性的影响尚需进一步探究。

基于上述内容,本研究旨在探究高跟鞋鞋跟高

度与穿着经验对青年女性下楼梯行走身体动态稳定性的影响,为女性在日常生活中选择合适的鞋跟高度,提高稳定性、预防跌倒提供数据支撑。本研究假设:(1)随着鞋跟高度增加,年轻女性下楼梯行走过程中的动态稳定性降低;(2)相比于有穿着经验组,无高跟鞋穿着经验组下楼梯动态稳定性较差。

1 实验部分

1.1 研究对象

应用 G*power 3.1 软件,统计方法选择双因素重复测量方差分析(two-way repeated measures ANOVA),统计功效设置为 0.8^[18], α 设定为 0.05,根据预实验结果计算出效应量 f 为 0.20,得出所需最小样本量为 36 人。本研究最终招募了 40 名受试者,包括有穿着经验和无穿着经验者各 20 名(年龄 (22.30 ± 1.03) 岁、身高 (1.66 ± 0.05) m、体重 (52.10 ± 3.47) kg、体质指数(BMI) (19.54 ± 0.31) kg/m²)。纳入标准为 18~25 岁健康女性,BMI 指数为 18.5~23.9 kg/m²,穿着鞋码为 38/39 码^[19];有高跟鞋穿着经验人群为每周穿着高跟鞋至少两次,每次穿着时间超过 8 h,穿着时长大于 1 年;无穿着经验人群为从每周穿高跟鞋的次数小于一次^[4,6]。排除标准为患有骨骼肌肉系统疾病、心血管疾病、神经及感觉系统损伤^[20];近 6 个月内有下肢损伤史,有足部矫形^[21]。所有受试者均自愿参与本实验,并在测试前签署知情同意书。本研究获得了山东体育学院伦理委员会的批准。

1.2 仪器设备

1.2.1 模拟楼梯

模拟楼梯共包含 6 级台阶,坡度约为 30°,每台阶高约 17 cm,深约 29 cm,宽约 150 cm(图 1),符合国家住宅标准。



图 1 模拟楼梯
Fig.1 Simulated staircase

1.2.2 三维测力台

采用 AMTI 测力台系统 (AMTI-BP600900), 美国 Advanced Mechanical Technology 有限公司。利用两块分别镶嵌于模拟楼梯的第三与第四台阶凹槽内的 AMTI 三维测力台采集动力学数据, 采样频率为 1 000 Hz^[22]。

1.2.3 三维红外运动捕捉系统

运动学数据采集设备为 Vicon 运动捕捉系统 (Nexus 12.0 Vicon Motion Systems), 英国 Oxford Metrics 有限公司 (图 2)。采样频率为 100 Hz^[22]。

1.2.4 实验用鞋

选用同一制造商生产的高跟鞋 (图 3), 鞋跟高度分别为 1 cm (平跟)、3 cm (低跟)、5 cm (中跟) 和 7 cm (高跟)。除 1 cm 平跟鞋外, 其余三种均为细跟高跟鞋, 鞋跟底面积为 14 mm×13 mm。每只鞋子的材质均相同。

1.3 测试流程

实验测试前, 要求受试者穿着实验室的测试服并进行身高、体重的测量与优势腿测试。随后研究人员根据 Visual3D 模型将 43 个反光 Marker 点分别粘贴于受试者的骨性标志点上。正式开始测试前, 受试者对测试用鞋进行试穿, 避免对鞋子的不适感, 适应完成后休息 5 min。正式测试时, 受试者分别穿 4 种高跟鞋 (穿鞋顺序随机化), 站立于第六台阶前 1.5 m 处准备, 听到“开始”指令后以自选最适速度下楼梯, 使用 Vicon 运动捕捉系统和测力台同步采集受试者下楼梯阶段的运动学和动力学数据。为确保实验数据的统一性, 受试者以非优势腿先迈第五台阶, 全程采用一步一个台阶并且每一台阶都用踩实的方式下楼梯行走, 禁止跨越台阶。受试者每次测试之后休息 1 min, 每双鞋子的测试均采集三次有效数据, 直至穿着四双鞋子均完成 3 次成功下楼梯测试。一次成功的测试定义为下楼梯过程中运动学与动力学数据采集完整有效, 未发生 Marker 点掉落、中途停顿以及踩踏在测力台之外等影响数据有效性的事件 (图 4)。

1.4 数据处理

使用 Vicon Nexus 软件将采集到的原始数据进行 Marker 点的命名、建模和删补处理, 随后导入 Visual 3D 分析软件。采用巴特沃斯四阶数字低通滤波对运动学和动力学信号进行 6 Hz 和 50 Hz^[23] 的滤波处理, 每双鞋子的测试均取三次有效数据的平均



图 2 Vicon 运动捕捉系统
Fig.2 The Vicon motion capture system



图 3 实验用鞋
Fig.3 Experimental shoes



图 4 实验测试图
Fig.4 Experimental test diagram

值进行分析。

选取步态周期的优势腿单支撑相进行分析。优势腿的单支撑相定义为非优势脚碰触第四台阶开始, 到非优势脚在第四台阶离地结束。将脚触地 / 离地时刻定义为测力台测得的 Z 轴方向上的垂直地面反作用力大于等于 20 N / 小于 20 N 的时刻^[24]。行走速度通过 CoM 速度表示, CoM 的位置和 CoM 速度均由 Visual 3D 软件计算得出。CoP 位置依据三维测力台数据获得。

1.5 测试指标

1.5.1 MoS

MoS 是评价身体姿势控制能力的指标, 为 CM 到最远前边界的最小距离。MoS 正值在前后方向 (anterior-posterior direction, AP) 表示 CM 位置位于 CoP 的后面; 在内外方向 (medio-lateral direction,

ML)则代表 CM 位置位于 CoP 内侧。负值则相反^[25]。本研究选取摆动腿着地时刻进行动作分析,此时身体处于最不稳定状态^[15]。MoS 的计算公式如下^[15,26]:

$$\omega_0 = \sqrt{g/l} \quad (1)$$

$$CM = dCoM + vCoM/\omega_0 \quad (2)$$

$$MoS = Bmax - CM \quad (3)$$

其中, ω_0 为人体倒置钟摆模型的频率, g 是重力加速度, 大小为 9.8 m/s^2 , l 是质心与地面的垂直距离; $dCoM$ 为某时刻质心的位置, $vCoM$ 为某时刻 CoM 在前后方向或内外侧方向的速度; MoS 为某时刻的动态稳度; Bmax 为支撑面某一方向边界的最大值, 在本研究中通过 CoP 的位置表示(图 5)。

1.5.2 CoM-CoP Max

CoM-CoP Max 为 CoM 投影到 CoP 所在水平面, 两者在前后方向与内外侧方向的最大距离(图 6)。

1.5.3 CoM-CoP IA

CoM-CoP IA 为穿过 CoP 的垂线与 CoM 与 CoP 的连线所形成的夹角^[13], 包括 CoM 与 CoP 在前后方向和内外侧方向的倾斜角, 计算公式如下:

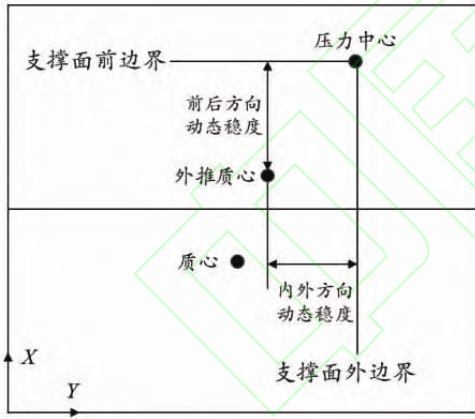


图5 动态稳度示意图
Fig.5 Dynamic stability diagram

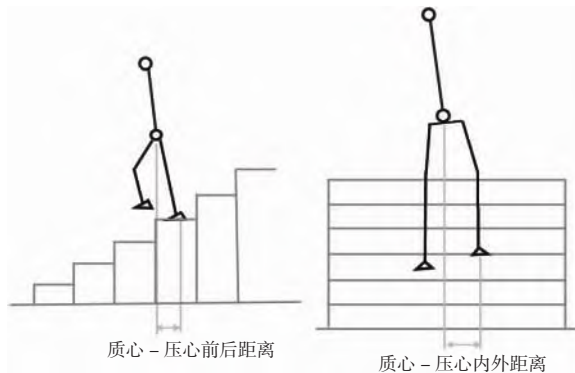


图6 质心 - 压心距离示意图
Fig.6 Diagram for the distance between CoM and CoP

$$\vec{t} = \frac{\vec{P}_{COM-COP} \times \vec{P}_{vertical}}{|\vec{P}_{COM-COP}|} \quad (4)$$

$$\alpha = \sin^{-1}(t_x) \quad (5)$$

$$\beta = \sin^{-1}(t_y) \quad (6)$$

其中 $\vec{P}_{COM-COP}$ 为 COM 指向 COP 的向量, $\vec{P}_{vertical}$ 为坐标系中垂直轴的单位向量。

1.6 统计学分析

应用 SPSS 26.0 软件对实验数据进行统计分析, 所有数据均采用平均数 $\pm$ 标准差表示。使用 Shapiro-Wilk 检验验证数据的正态分布。使用双因素重复测量方差分析判断 MoS、CoM-CoP Max 和 CoM-CoP IA 在鞋跟高度(组内)和高跟鞋穿着经验(组间)的主效应及交互效应, 如果存在显著的交互效应, 则使用 Bonferroni 进行事后检验比较两组在不同鞋跟高度之间及组间差异。显著性水平为 0.05。

2 研究结果

2.1 两组受试者下楼梯前后方向身体动态稳定性测试结果

触地时刻前后方向的 CoP 位移 ($P=0.003$, $\eta^2p=0.117$) 和 $vCoM$ ($P=0.007$, $\eta^2p=0.101$) 存在交互效应。在无穿着经验组, 与鞋跟 1 cm ($P<0.001$)、3 cm ($P=0.002$) 相比, 鞋跟 7 cm 在前-后方向上的 $vCoM$ 显著减小; 与有穿着经验组相比, 无穿着经验组在鞋跟 5 cm ($P<0.001$) 和鞋跟 7 cm ($P<0.001$) 时的 $vCoM$ 速度显著减小。在触地时刻前后方向的 MoS ($P=0.010$, $\eta^2p=0.164$) 和 CM ($P=0.032$, $\eta^2p=0.115$) 存在显著的组别主效应(表 1), 与有穿着经验组相比, 无穿着经验组在前后方向的 MoS 显著减小(图 7)、外推质心显著增大(表 1)。

2.2 两组受试者下楼梯内外侧方向身体动态稳定性测试结果

触地时刻内外侧方向的 MoS ($P<0.001$, $\eta^2p=0.249$)、CoM-CoP Max ($P<0.001$, $\eta^2p=0.353$) 和 CoM-CoP IA ($P<0.001$, $\eta^2p=0.535$) 存在显著的鞋跟高度主效应(表 2)。经事后检验结果显示, 与鞋跟高度 1 cm、3 cm 相比, 鞋跟高度为 5 cm (1 cm: $P=0.005$; 3 cm: $P=0.020$) 和 7 cm (1 cm: $P<0.001$; 3 cm: $P<0.001$) 时内外侧方向的 MoS 显著减小; 与 1 cm 相比, 鞋跟高度为 5 cm 时内外侧方向的 CoM-CoP Max 显著减小 ($P=0.001$)。与 1 cm ($P<0.001$)、3 cm ($P<0.001$)、5 cm ($P=0.003$) 相比, 鞋跟高度为 7 cm

表 1 触地时刻前后方向身体动态稳定性指标 ($M \pm SD$)Tab.1 The dynamic stability in the AP direction at the moment of heel contact ground ($M \pm SD$)

变量		鞋跟高度				高度主效应		分组主效应		交互效应	
		1 cm	3 cm	5 cm	7 cm	P 值	η^2p	P 值	η^2p	P 值	η^2p
CoM _{ap} /m	E	3.33±0.14	3.32±0.14	3.32±0.15	3.33±0.14	0.059	0.185	0.119	0.063	0.364	0.027
	I	3.39±0.13	3.39±0.13	3.39±0.13	3.40±0.13						
vCoM _{ap} /(m/s)	E	-0.53±0.03	-0.53±0.04^d	-0.53±0.05^d	-0.53±0.05^d	0.001	0.143	<0.001	0.330	0.007	0.101
	I	-0.51±0.06	-0.49±0.05	-0.47±0.05	-0.45±0.05^{ab}						
CoP _{ap} /m	E	3.46±0.14	3.47±0.14	3.53±0.12	3.46±0.14	0.001	0.130	0.107	0.067	0.003	0.117
	I	3.52±0.12	3.53±0.12	3.53±0.13	3.54±0.13^{abc}						
CM _{ap} /m	E	3.17±0.14	3.17±0.14	3.16±0.15	3.12±0.24	0.805	0.027	0.032	0.115	0.443	0.071
	I	3.24±0.14	3.25±0.13	3.25±0.13	3.27±0.13						
MoS _{ap} /m	E	0.295±0.020	0.300±0.022	0.300±0.023	0.298±0.034	0.645	0.014	0.010	0.164	0.683	0.013
	I	0.282±0.035	0.281±0.024	0.282±0.023	0.247±0.026						
CoM-CoP Max _{ap} /m	E	0.141±0.02	0.144±0.01	0.146±0.01	0.144±0.02	0.093	0.161	0.531	0.010	0.669	0.042
	I	0.136±0.02	0.142±0.02	0.143±0.13	0.145±0.01						
CoM-CoP IA _{ap} /°	E	9.34±1.14	9.67±0.86	9.50±0.84	9.41±1.14	0.125	0.146	0.609	0.007	0.304	0.095
	I	9.24±1.19	9.64±1.06	9.76±0.91	9.84±0.94						

1) E 代表有高跟鞋穿着经验组, I 代表无高跟鞋穿着经验组。a: 与 1 cm 相比组内差异具有显著性; b: 与 3 cm 相比组内差异具有显著性; c: 与 5 cm 相比组内差异具有显著性; d: 有穿着经验组和无穿着经验组存在显著差异 ($p < 0.05$)

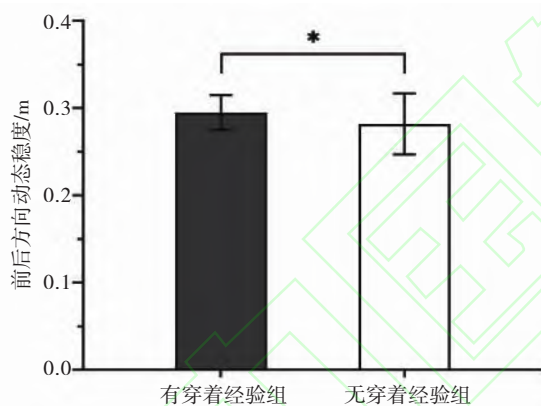


图 7 前后方向动态稳定度

Fig.7 The margin of stability in the anterior-posterior direction

1) * 表示两组间比较存在显著性差异 ($p < 0.05$) (下同)

时内外侧方向的 CoM-CoP Max 显著减小; 与鞋跟高度 1 cm ($P < 0.001$)、3 cm ($P < 0.001$) 相比, 鞋跟高度为 5 cm 时内外侧方向的 CoM-CoP IA 显著减小。与 1 cm ($P < 0.001$)、3 cm ($P < 0.001$)、5 cm ($P = 0.002$) 相

比, 鞋跟高度为 7 cm 时内外侧方向的 CoM-CoP IA 显著减小 (图 8); 触地时刻内外侧方向的 vCoM ($P = 0.041$, $\eta^2p = 0.105$) 存在显著的组别主效应, 无穿着经验组内外侧方向的 vCoM 显著大于有穿着经验组 (表 2)。

3 讨论

研究发现, 与 1 cm 和 3 cm 高跟鞋相比, 两组受试者穿着 5 cm 高跟鞋下楼梯时内外侧方向的 MoS、CoM-CoP 距离、CoM-CoP 倾斜角均表现出显著减小, 鞋跟为 7 cm 时这一趋势更加显著。结果表明, 鞋跟高度降低了人体下楼梯时内外侧方向的稳定性, 支持了第一个研究假设。然而在前后方向并无显著性差异, 由此可见, 鞋跟高度对人体动态稳定性的影响主要表现在内外侧方向的稳定控制上, 女性穿高跟鞋下楼梯时内外侧方向的跌倒风险更大。

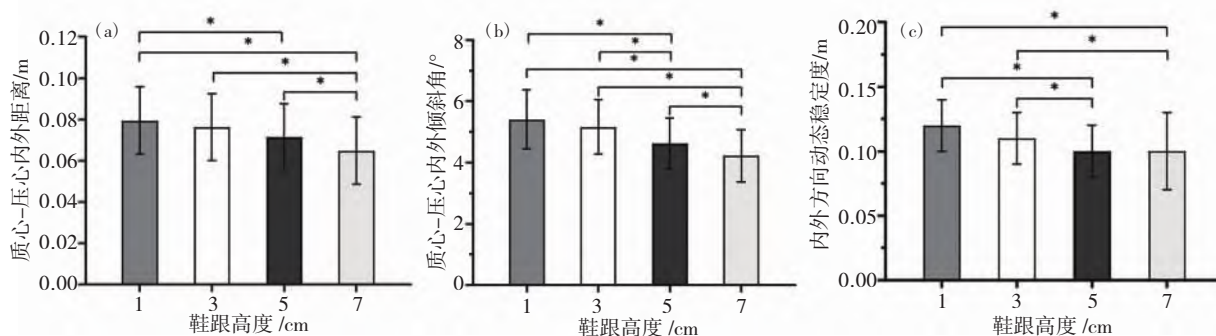


图 8 四种鞋跟高度主效应对比图 (a) 质心-压心内外方向距离; (b) 质心-压心内外方向倾斜角; (c) 内外方向动态稳定度

Fig.8 Comparison of main effects of four heel heights (a) CoM-CoP Maxml; (b) CoM-CoP IAml; (c) MoSml)

表2 触地时刻内外侧方向身体动态稳定性指标($M \pm SD$)
Tab.2 The dynamic stability in the ML direction at the moment of heel contact ground ($M \pm SD$)

变量		鞋跟高度				高度主效应		分组主效应		交互效应	
		1 cm	3 cm	5 cm	7 cm	P 值	η^2_p	P 值	η^2_p	P 值	η^2_p
CoM _{ml} /m	E	0.47±0.03	0.47±0.03	0.48±0.04	0.48±0.02	0.468	0.067	0.584	0.008	0.436	0.072
	I	0.47±0.03	0.47±0.04	0.46±0.05	0.47±0.04						
vCoM _{ml} /(m/s)	E	-0.12±0.03	-0.12±0.03	-0.11±0.03	-0.10±0.05	0.147	0.046	0.041	0.105	0.059	0.063
	I	-0.13±0.04	-0.14±0.04	-0.13±0.04	-0.14±0.04						
CoP _{ml} /m	E	0.551±0.03	0.546±0.03	0.546±0.04	0.538±0.02	0.053	0.065	0.640	0.006	0.356	0.028
	I	0.548±0.03	0.547±0.04	0.530±0.044	0.539±0.04						
CM _{ml} /m	E	0.44±0.03	0.43±0.04	0.44±0.04	0.44±0.04	0.405	0.018	0.942	0.003	0.322	0.030
	I	0.43±0.03	0.43±0.04	0.42±0.05	0.43±0.04						
MoS _{ml} /m	E	0.114±0.020	0.114±0.022	0.102±0.020	0.093±0.024	<0.001	0.249	0.358	0.022	0.197	0.040
	I	0.116±0.025	0.116±0.023	0.107±0.028	0.107±0.029						
CoM-CoP Max _{ml} /m	E	0.079±0.02	0.076±0.02	0.071±0.01	0.063±0.01	<0.001	0.353	0.704	0.004	0.882	0.006
	I	0.08±0.02	0.080±0.017	0.073±0.02	0.067±0.02						
CoM-CoP IA _{ml} /°	E	5.45±0.95	5.20±0.87	4.71±0.75	4.08±0.85	<0.001	0.535	0.960	0.001	0.298	0.033
	I	5.38±0.99	5.12±0.92	4.56±0.90	4.35±0.86						

1)E 代表有高跟鞋穿着经验组 I 代表无高跟鞋穿着经验组。

在步态研究中,动态稳定性是指人体在运动过程中保持身体处于稳定状态而不跌倒的能力^[24]。CoM-CoP 距离和 CoM-CoP 倾斜角减小,说明受试者在穿高跟鞋下楼梯时身体平衡稳定的控制能力更好,这一结果与前人研究相似^[9]。Chien 等人^[9]使用 CoM-CoP 倾斜角观察了穿高跟鞋行走时的身体运动控制,结果发现与裸足相比,穿高跟鞋行走时内外侧方向的 CoM-CoP 倾斜角显著减小,说明受试者穿高跟鞋行走时采取了小心谨慎的控制策略。由于人体穿平跟鞋时身体稳定性较好,自身可控的范围较大,能够做出大幅度的运动,然而当穿着 7 cm 高跟鞋下楼梯时,身体稳定性受到破坏,需要自身的控制调整身体稳定。研究发现,受试者穿着高跟鞋下楼梯时试图降低步速以减少 CoM 和 CoP 的距离,最大限度地提高身体的稳定性,这种保守的策略可能有助于减少下楼梯时发生跌倒。然而,鞋跟高度的增加使内外侧方向的 MoS 减小,这表明即使受试者在穿较高鞋跟的鞋子下楼梯时采取了谨慎的调节策略,但是身体仍然表现出了不稳定的状态。

尽管鞋跟高度在前后方向对身体动态稳定性的指标没有表现出显著差异,但研究结果显示,与 1 cm 和 3 cm 高跟鞋相比,无穿着经验组穿着 7 cm 高跟鞋下楼梯时前后方向的 CoP 位移显著增加,同时 CoM 速度显著降低。这可能是由于鞋跟高度的增加提高了楼梯行走这一具有挑战性的动作难度,使无穿着经验者在穿高跟鞋下楼梯时通过降低步速的方式减小 CM 的前移,使其保持在支撑面范围内

减少下楼梯行走过程中向前跌倒的风险。

有穿着经验组穿着四种高跟鞋下楼梯时相比于无穿着经验组均表现出前后方向较大的 MoS,说明穿着经验增加了年轻女性下楼梯时前后方向维持姿势稳定性的能力,部分支持了第二个假设。这可能是由于两组人群对高跟鞋的适应能力不同导致的^[27],研究发现,长期穿着高跟鞋的人群对鞋子的适应能力较好,自身调节能力较强,而无穿着经验组由于自身调节能力弱,下楼梯时需要改变行走策略维持身体稳定性^[4, 27]。本研究发现,无穿着经验组在前后方向具有更大的 CM。倒钟摆模型理论认为 MoS 是 CoP 与 CM 的最小距离,因此 CM 的增大,降低了前后方向的 MoS。鞋跟高度增加导致的不稳定姿势会引起无穿着经验者的恐惧,这会进一步限制穿着者的运动,表现为 CoM 速度降低。研究发现,穿着经验能够影响行走过程中的步态特征^[4],鞋跟高度的增加导致姿势控制能力下降^[20],无高跟鞋穿着经验的人群由于身体姿势控制能力不足以应对鞋跟高度增加的需求,因此会采取降低步速的自我保护机制以预防摔倒。本研究结果显示,两组人群在前后方向的 CoP 位移虽未表现出显著性差异,但可以发现,相比有穿着经验组,无穿着经验组穿着四双高跟鞋下楼梯时的 CoP 位移增加,这可能表明无穿着经验组通过主动增大支撑面来提高身体稳定性,进而降低在前后方向的跌倒风险。

然而,本研究并没有发现两组人群内外侧方向的动态稳定性存在显著差异,这与前人的研究不一

致。Chien 等^[8]研究发现,有穿着经验的受试者在穿着 7.3 cm 高跟鞋行走时单支撑期的内外侧 CoM-CoP 倾斜角显著减小。这可能是不同的测试动作所导致,Chien 等人^[8]研究的是平地行走时的步态。下楼梯时穿着经验主要影响了行走过程中前后方向的动态稳定,对内外侧方向的稳定性没有造成过大的影响。

本研究存在以下局限性:此次实验选取的受试者仅为 18~25 岁的青年女性,研究结果仅适用于该年龄段人群;此外,本实验未观察女性穿高跟鞋下楼梯时下肢肌肉的活动状态,未来的研究可以探讨高跟鞋对人体下肢肌肉激活状态的影响。

4 结论

与 1 cm 和 3 cm 高跟鞋相比,女性穿着 5 cm 和 7 cm 高跟鞋下楼梯时身体内外侧方向动态稳定性较差,跌倒风险更大。相比于有高跟鞋穿着经验者,无高跟鞋穿着经验的女性在前后方向表现出更差的动态稳定性,并采取降低步速的自我保护策略以防止摔倒。因此,建议女性在日常生活中选择穿着 5 cm 以下的高跟鞋,并在下楼梯时应适当降低步速以减少内外侧方向发生跌倒的风险。

参考文献:

- [1] MALICK W H,KHALID H,MEHMOOD Z,et al.Association of musculoskeletal discomfort with the use of high heeled shoes in females[J].J Pak Med Assoc,2020,70(12(A)):2199-2204.
- [2] MOORE J X,LAMBERT B,JENKINS G P,et al.Epidemiology of high-heel shoe injuries in U.S.women:2002 to 2012[J].J Foot Ankle Surg,2015,54(4):615-619.
- [3] 王疆娜,郑慧芬,孙威.下楼梯行走执行手机任务时下肢动态稳定性、运动协调性及关节力学的变化[J].中国组织工程研究,2021,25(6):837-843.
WANG J N,ZHENG H F,SUN W.Changes in dynamic stability,motor coordination and joint mechanics of the lower extremity during stair descent and performing phone task[J].Chin J Tissue Eng Res,2021,25(6):837-843.(in Chinese)
- [4] 徐苗苗,李静先,王琳.高跟鞋对女性步态及平衡的影响研究进展[J].中国运动医学杂志,2018,37(1):83-87.
XU M M,LI J X,WANG L.Research progress on the effects of high heels on female gait and balance [J].Chin J Sports Med,2018,37(1):83-87.(in Chinese)
- [5] ZENG Z W,LIU Y,HU X Y,et al.Effects of high-heeled shoes on lower extremity biomechanics and balance in females:A systematic review and meta-analysis [J].BMC Public Health,2023,23(1):726.
- [6] HAPSARI V D,XIONG S P.Effects of high heeled shoes wearing experience and heel height on human standing balance and functional mobility [J].Ergonomics,2016,59(2):249-264.
- [7] TAKATA Y,UCHIYAMA E,KIMURA K,et al.Wearing high-heeled shoes on a side slope makes standing balance unstable[J].J Bodyw Mov Ther,2023,33:171-175.
- [8] CHIEN H L,LU T W,LIU M W.Control of the motion of the body's center of mass in relation to the center of pressure during high-heeled gait[J].Gait Posture,2013,38(3):391-396.
- [9] CSAPO R,MAGANARIS C N,SEYNNES O R,et al.On muscle,tendon and high heels [J].J Exp Biol,2010,213 (Pt 15):2582-2588.
- [10] CRONIN N J,BARRETT R S,CARTY C P.Long-term use of high-heeled shoes alters the neuromechanics of human walking[J].J Appl Physiol,2012,112(6):1054-1058.
- [11] CHIEN H L,LU T W,LIU M W.Effects of long-term wearing of high-heeled shoes on the control of the body's center of mass motion in relation to the center of pressure during walking[J].Gait Posture,2014,39(4):1045-1050.
- [12] 杨璐铭,李曦,冉美玲,等.高跟鞋全掌中底硬度对青年女性行走过程中步态特征与稳定性的影响[J].皮革科学与工程,2024,34(3):86-93.
YANG L M,LI X,RAN M L,et al.Effects of full palm midsole hardness of high heels on gait and stability of young women during walking[J].Leather Sci Eng,2024,34(3):86-93.(in Chinese)
- [13] SONG Q P,SUN W,ZHANG C,et al.Effects of a dual-task paradigm and gait velocity on dynamic gait stability during stair descent[J].Appl Sci,2020,10(6):1979.
- [14] SONG Q P,TIAN X W,WONG D,et al.Effects of Tai Chi Exercise on body stability among the elderly during stair descent under different levels of illumination [J].Res Sports Med,2017,25(2):197-208.
- [15] HOF A L,GAZENDAM M G J,SINKE W E.The condition for dynamic stability[J].J Biomech,2005,38(1):1-8.
- [16] MERSMANN F,BOHM S,BIERBAUM S,et al.Young and old adults prioritize dynamic stability control following gait perturbations when performing a concurrent cognitive task [J].Gait Posture,2013,37(3):373-377.
- [17] KAO P C,DINGWELL J B,HIGGINSON J S,et al.Dynamic instability during post-stroke hemiparetic walking [J].Gait Posture,2014,40(3):457-463.
- [18] 汤运启,李灵君,张移帆,等.极简鞋对后跟着地跑者足踝生物力学的影响 [J].皮革科学与工程,2022,32(5):57-62.
TANG Y Q,LI L J,ZHANG Y F,et al.Effect of minimalist shoes on foot and ankle biomechanics of habitual rearfoot strike runners[J].Leather Sci Eng,2022,32(5):57-62.(in Chinese)
- [19] SHANG J Y Z,CHEN L,ZHANG S Q,et al.Influence of

- high-heeled shoe parameters on biomechanical performance of young female adults during stair ascent motion [J]. *Gait Posture*, 2020, 81: 159–165.
- [20] CHEN Y Y, LI J X, WANG L. Influences of heel height on human postural stability and functional mobility between in-experienced and experienced high heel shoe wearers [J]. *PeerJ*, 2020, 8: e10239.
- [21] 时会娟, 吴肖洁, 李翰君, 等. 鞋跟高度对青年女性下楼梯步态的影响 [J]. *医用生物力学*, 2015, 30(3): 256–263.
SHI H J, WU X J, LI H J, et al. The influence of heel height on gait of young females during stair descent [J]. *J Med Biomech*, 2015, 30(3): 256–263. (in Chinese)
- [22] BUDDHADEV H H, SUPRAK D N, JORDAN K H, et al. Walking in high-heel shoes induces redistribution of joint power and work [J]. *Int Biomech*, 2023, 10(1): 10–17.
- [23] SAMAAAN M A, WEINHANDL J T, HANS S A, et al. Predictive neuromuscular fatigue of the lower extremity utilizing computer modeling [J]. *J Biomech Eng*, 2016, 138(1): 011008.
- [24] BUCKLEY J G, HEASLEY K, SCALLY A, et al. The effects of blurring vision on medio-lateral balance during stepping up or down to a new level in the elderly [J]. *Gait Posture*, 2005, 22(2): 146–153.
- [25] 郑慧芬, 孙威, 宋祺鹏, 等. 手机任务介入对下楼梯行走动态稳定性的影响 [J]. *中国运动医学杂志*, 2021, 40(7): 528–535.
ZHENG H F, SUN W, SONG Q P, et al. Effects of mobile phone task on dynamic stability during stair descent [J]. *Chin J Sports Med*, 2021, 40(7): 528–535. (in Chinese)
- [26] 曹传宝, 吴耀宇, 马刚, 等. 老龄化对下楼梯动态稳定性及髌股关节力学特征的影响 [J]. *中国运动医学杂志*, 2020, 39(3): 194–202.
CAO C B, WU Y Y, MA G, et al. The influence of aging on dynamic stability and mechanical characteristics of patellofemoral joint when walking downstairs [J]. *Chin J Sports Med*, 2020, 39(3): 194–202. (in Chinese)
- [27] SCHAEFER S, LINDENBERGER U. Thinking while walking: Experienced high-heel walkers flexibly adjust their gait [J]. *Front Psychol*, 2013, 4: 316.
- +++++
- (上接第 72 页)
- 硅聚氨酯防污聚合物的研制 [J]. *有机硅材料*, 2023, 37(2): 1–7.
LIU Y T, ZHAO S S, ZHANG D J, et al. Preparation and properties of amphiphilic silicone-polyurethane antifouling polymer [J]. *Silicone material*, 2023, 37(2): 1–7. (in Chinese)
- [5] 涂层业新锐 TPU 产品现状 [J]. *纺织信息周刊*, 2002(36): 16.
Current situation of cutting-edge TPU products in coating industry [J]. *Text Apparel Wkly*, 2002(36): 16. (in Chinese)
- [6] 韩玥. 新型复合墙布面料加工工艺 [J]. *现代纺织技术*, 2016, 24(3): 48–51.
HAN Y. Study on processing technology of a new compound wall fabric [J]. *Adv Text Technol*, 2016, 24(3): 48–51. (in Chinese)
- [7] 李杰, 徐旭凡. 泡孔绵对薄膜层压复合织物性能及外观特征的影响 [J]. *上海纺织科技*, 2016, 44(6): 53–55.
LI J, XU X F. Effect of foam sponge layer on appearance and property of composite film laminated fabric [J]. *Shanghai Text Sci Technol*, 2016, 44(6): 53–55. (in Chinese)
- [8] 逢兰芹. 防水透气抗菌多功能复合面料的开发 [J]. *山东纺织科技*, 2016, 57(3): 8–10.
PANG L Q. The development of waterproof breathable antibacterial multifunctional Composite fabric [J]. *Shandong Text Sci Technol*, 2016, 57(3): 8–10. (in Chinese)
- [9] 王丽, 熊艳丽, 郭嫣. 高透湿聚氨酯层压帐篷面料的开发 [J]. *纺织报告*, 2021, 40(1): 16–18.
WANG L, XIONG Y L, GUO Y. Development of high moisture permeable polyurethane laminated tent fabric [J]. *Text Rep*, 2021, 40(1): 16–18. (in Chinese)
- [10] 张新禹, 李显波, 张连坤. 纳米电纺 TPU 膜复合面料制备及性能 [J]. *上海纺织科技*, 2021, 49(2): 20–23.
ZHANG X Y, LI X B, ZHANG L K. Preparation and properties of polyurethane nanofiber membrane composite fabric [J]. *Shanghai Text Sci Technol*, 2021, 49(2): 20–23. (in Chinese)
- [11] 刘春晖, 钱小磊, 廖熙. 聚氨酯基纳米纤维复合面料的设计开发及其防水透湿性能 [J]. *国际纺织导报*, 2021, 49(8): 26–33, 41.
LIU C H, QIAN X L, LIAO X. Design and development of polyurethane-based nanofiber composite fabric and its waterproof and moisture permeability [J]. *Melliand China*, 2021, 49(8): 26–33, 41. (in Chinese)
- [12] 刘倩, 吴海波, 王荣武. TPU 静电纺丝纳米纤维膜复合面料的制备及其结合牢度研究 [J]. *产业用纺织品*, 2022, 40(8): 19–25.
LIU Q, WU H B, WANG R W. Study on preparation and bonding fastness of TPU electrospinning nanofiber membrane composite fabrics [J]. *Techn Text*, 2022, 40(8): 19–25. (in Chinese)
- [13] 刘海燕, 周衡书, 任柯. 苧麻 / 聚丙烯熔喷复合面料的制备与研究 [J]. *产业用纺织品*, 2023, 41(1): 14–21.
LIU H Y, ZHOU H S, REN K. Preparation and research of ramie/PP melt-blown composite fabric [J]. *Techn Text*, 2023, 41(1): 14–21. (in Chinese)
- [14] 陶渊, 张志成, 崔展鹏, 等. 涂层类型对户外背囊用面料性能的影响 [J]. *纺织科学研究*, 2023(4): 61–63.
TAO Y, ZHANG Z C, CUI Z P, et al. Effect of coating type on properties of outdoor backpack fabrics [J]. *Textile Science Research*, 2023(4): 61–63. (in Chinese)