

鞋具对老年人身体稳定性影响的系统综述

汤运启¹, 梁佩瑶¹, 李新月¹, 胡月琪¹, 王荣¹, 杜伟建¹, 任慧¹, 张翠^{2,3}

(1. 陕西科技大学 设计与艺术学院, 西安 710021; 2. 山东体育学院 研究生院, 济南 250014;
3. 山东省体育科学研究中心 运动生物力学研究室, 济南 250014)

摘要:随着年龄增长,老年人对身体平衡的控制能力下降,容易引起跌倒。鞋具作为人体与地面接触的关键要素,其特征对老年人身体稳定性起着重要作用。本文对鞋具特征与老年人身体稳定性相关文献进行系统回顾,分析鞋具对老年人身体稳定性的影响。结果显示,穿着鞋带或粘扣等束缚物、鞋跟低、鞋底较宽且合脚的鞋,或者使用振动鞋垫和支撑性鞋垫有助于改善老年人身体稳定性;鞋底跷度过大、硬度过小可能对老年人身体稳定性存在不利影响。研究结果可为老年人合理选鞋及企业鞋具设计制造以预防跌倒提供理论依据。

关键词: 鞋具; 鞋垫; 跌倒; 老年人; 稳定性

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.04.028

Effects of Footwear on the Stability of Older Adults: A Systematic Review

TANG Yunqi¹, LIANG Peiyao¹, LI Xinyue¹, HU Yueqi¹, WANG Rong¹, DU Weijian¹, REN Hui¹, ZHANG Cui^{2,3}

(1. College of Art and Design, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China;
2. Graduate School, Shandong Sport University, Jinan 250014, China; 3. Research Lab of Sport Biomechanics, Shandong Institute of Sports Science, Jinan 250014, China)

Abstract: Older adults have decreased control of body balance with aging and are prone to fall. As the primary point of contact between human body and ground, footwear is critical for stability of older adults. The relationship between shoe characteristics and stability of older adults was systematically reviewed to determine the effect of footwear characteristics on stability of older adults. The results show that wearing shoes with shoelaces or velcro, low heels, wide outsole and appropriate soles, or using vibrating insoles and arch support insoles can help older adults improve their stability. Excessive sole spring and low sole hardness may have adverse effects on stability of older adults. This study can provide theoretical references for older adults to choose shoes reasonably and for the manufacturers to design and make shoes to prevent falls.

Key words: footwear; insole; fall; older adults; stability

跌倒损伤的发生率随着年龄的增长而增加,造成的跌倒恐惧、残疾和死亡等后果,严重影响老年人的生活水平,产生的高额医疗费用给家庭和社会带来负担^[1]。老年人跌倒通常与中枢神经感觉系统损伤、下肢肌肉力量不足、足底筋膜机能减退及关节不稳等身体稳定性控制能力下降有关^[2]。目前预防老年人跌倒的措施多通过体能和认知训练来提高平衡能力^[3],也有通过鞋具等外部辅具影响其身体稳定性的方式^[4]。研究表明,鞋帮包裹性好的鞋可以通过减少足部在鞋腔内的滑移来提高人体稳定性,使用纹理鞋垫、振动鞋垫能够刺激足部机械感受器,增强中枢神经系统对身体稳定性的调控^[5-8]。但也有研究表明,使用纹理鞋垫反而会降低老年人步态规律性^[9]。关于鞋具特征对老年人身体稳定性的影响还存在一定争议。本文系统综述有关鞋具特征对老年人稳定性影响的文献,为老年人选鞋提供参考,为老年鞋结构和功能设计改进提供理论依据,以期降低跌倒率,促进老年人健康生活。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用主题词检索方法,在 PubMed、Web of Science、中国知网、维普和万方数据库进行检索,文献发表时间为 2010 年 1 月 1 日~2021 年 9 月 23 日。中文检索主题词:①鞋 AND 稳定性;②鞋 AND 跌倒;③鞋垫 AND 稳定性;④鞋垫 AND 跌倒。英文检索主题词:①(footwear) OR (shoes) AND balance; ②(footwear) OR (shoes) AND fall; ③ insole AND balance; ④ insole AND fall。

1.2 纳入和排除标准

纳入标准:①研究对象包括老年人;②结果指标为静态或动态稳定性相关指标;③研究变量为鞋类特征或鞋垫。

排除标准:①研究方案含有非鞋类或鞋垫的混杂因素;②定性研究、个案研究、综述、硕博论文、会议论文。

2 结果

在各数据库中初步检索到 312 篇论文,通过筛选,共纳入 29 篇论文。文献筛选过程如图 1 所示。

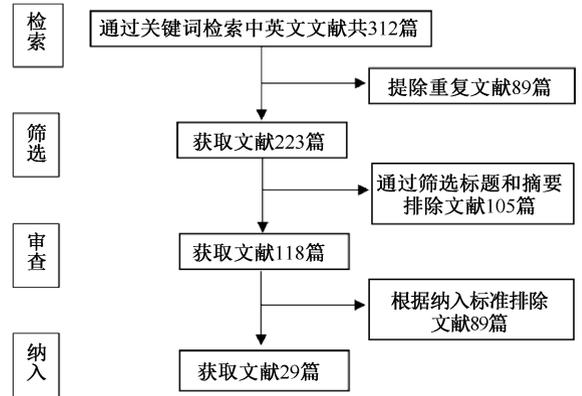


图 1 文献检索筛选过程

Fig. 1 Process of literature search and selection

纳入文献涉及的鞋具影响因素包括鞋底特征、鞋帮结构、鞋帮高度、鞋合脚性和鞋垫,研究方法设计包括横断面研究、随机对照试验以及自身前后对照实验,纳入文献共涉及 905 人,均包含老年人,每项研究受试者人数从 6 人到 91 人不等,纳入文献的具体信息如表 1 所示。

3 讨论

3.1 鞋与身体稳定性

鞋具有支撑、缓冲和防护等功能,会影响人体步态、足底压力中心(center of pressure, CoP)运动、身体重心等。步速和步长增加、步态周期和单支撑时间缩短及 CoP 摆动减小通常被用来表征身体稳定性的提高,动态稳度(center of mass-base of support, CoM-BoS)的减小是身体稳定性下降的表现^[12,24,36]。本节探究的鞋类特征包括鞋底特征、鞋帮结构、鞋帮高度、鞋合脚性等。

3.1.1 鞋底特征

(1) 鞋跟高度

Kim 等^[31]发现,与 5 cm 跟高相比,1、3 cm 跟高条件下,老年人行走时 CoP 前后向位移更小。费锐等^[27]发现,与 2、3 cm 跟高相比,老年人穿着 1 cm 跟高时的步态周期缩短,单支撑初期的地面冲击力降低,且随着鞋跟高度的增加,膝关节内翻力矩第 1 峰值越大。Menant 等^[33]发现,穿着更高鞋跟的牛津鞋时,老年人骨盆内外侧加速度会降低,这可能是一种补偿策略,以抵消鞋跟升高导致的身体内外侧向的不稳定。

表1 纳入文献汇总

Tab. 1 Summary of the literature

文献	研究设计	老年受试者 健康状况	老年受试者 年龄/岁	受试者人数	鞋具特征
[5]	横断面研究	跌倒史	60~80	30	系带休闲鞋、封闭式拖鞋
[6]	横断面研究	健康	≥65	30	后帮开放式拖鞋、封闭式拖鞋
[9]	随机对照试验	≥2次跌倒	79	30	纹理鞋垫
[10]	横断面研究	脑卒中患者	61.5±8.8	30	振动鞋垫
[11]	自身前后对照实验	健康	≥65	20	足弓支撑鞋垫
[12]	横断面研究	健康	72.0±6.4	56	鞋垫厚度
[13]	横断面研究	跌倒史	68.6±4.4	30	鞋底厚度
[14]	横断面研究	健康	55.4±7.8	22	鞋底厚度、鞋帮高度
[15]	横断面研究	健康	65±3.6	24	纹理鞋垫
[16]	随机对照试验	健康	70.0±4.7	91	纹理鞋垫
[17]	横断面研究	健康	74.4±5.6	30	鞋垫硬度
[18]	横断面研究	健康	69.2±7.2	13	后跟杯鞋垫、纹理鞋垫、刚性鞋垫和柔性鞋垫
[19]	横断面研究	健康	73.8±8.1	12	振动鞋垫
[20]	横断面研究	健康	68.0±4.6	57	后帮开放式拖鞋、高跟鞋、系带休闲鞋
[21]	横断面研究	健康	73±5	12	鞋底前跷角度
[22]	随机对照试验	健康	65~78	16	鞋底宽度
[23]	自身前后对照实验	健康	71.3±6.2	45	足弓支撑和后跟杯鞋垫
[24]	横断面研究	健康	73.2±5.5	10	鞋垫硬度
[25]	随机对照试验	骨质疏松症患者	72.4±6.8	89	带跖骨垫的足弓支撑鞋垫
[26]	随机对照试验	脑卒中患者	54.5±8.3	31	振动鞋垫
[27]	随机对照试验	健康	55.33	6	鞋跟高度
[28]	横断面研究	健康	73.2±5.5	22	鞋垫硬度
[29]	自身前后对照实验	跌倒史	83.3±4.8	26	振动鞋垫
[30]	横断面研究	健康	72±4	7	鞋垫硬度、纹理鞋垫
[31]	随机对照试验	健康	71.7±4.4	14	鞋跟高度
[32]	横断面研究	健康	78.4±4.4	21	鞋底翘度
[33]	随机对照试验	健康	78.4±4.4	22	牛津鞋、高跟鞋、软底鞋、硬底鞋、高帮鞋
[34]	随机对照试验	健康	60~78	85	鞋合脚性
[35]	随机对照试验	健康	67.8±6.0	24	纹理鞋垫

(2) 鞋底硬度和厚度

Büyükturan 等^[12]通过探究不同厚度对站立和行走稳定性的影响发现,与0.5、1.5 cm鞋垫相比,老年人穿着带有1 cm鞋垫的鞋站立和行走时CoP摆动最小。Cudejko 等^[13-14]发现,老年人穿着鞋底更薄的极简鞋和穿着普通极简鞋站立时CoP摆动无显著差异,但薄鞋底更容易造成老年人足部不适。Menz 等^[17]发现,与软底鞋(shore A-25)相比,老年人穿着硬度鞋(shore A-55)行走时步幅、步宽和CoP摆动速率均减少。而Menant 等^[33]发现,老年人穿不同鞋底硬度时的步态周期变异性或重心加速度并未发生显著变化。

(3) 鞋底宽度

Yamaguchi 等^[22]探究鞋底宽度对老年人受平衡扰动时身体稳定性的影响,通过在运动鞋的内外

侧粘贴塑料块(宽2 cm)来加宽鞋底。结果表明,与未加宽鞋底相比,老年人穿着鞋底加宽的运动鞋时,受扰动后的内外侧向迈步频率明显下降。Cudejko 等^[14]用起立行走计时测试(timed up and go test, TUG)评估老年人的动态平衡,发现与普通极简鞋相比,老年人穿着宽底极简鞋时TUG测试用时减少。

(4) 鞋底跷度

Brenton 等^[32]探究两种不同跷度运动鞋对老年人站立稳定性的影响,一款是具有前后跷度的步行鞋,另一款是在中底有“摇椅”式结构且在后跟有倾角的糖尿病专用鞋。结果表明,两种运动鞋对老年人CoP摆动的影响没有显著差异,但与裸足相比,老年人穿着两种运动鞋时在前后向的摆动幅度均显著增加,稳定性下降。Thies 等^[21]细化前跷角

度为 10° 、 15° 、 20° ，发现跂度为 20° 时老年人行走步速明显减慢，且足廓清（步行时摆动相下肢到地面的垂直距离）最大。

由上可知，鞋底特征对老年人身体稳定性有一定影响，建议老年人选择低跟、鞋底偏宽的鞋，不宜选择鞋底硬度过软或跂度过大的鞋。鞋底厚度和跂度对站立和行走稳定性的影响还尚不明确，需要进一步研究。

3.1.2 鞋帮结构 Menz 等^[6]发现，与后帮开放式拖鞋相比，老年人穿着带有尼龙搭扣的封闭式拖鞋站立和行走时的 CoP 摆动速率更低。Roman 等^[20]发现，与裸足和穿后帮开放式拖鞋相比，老年人穿着系带休闲鞋时的步速和步幅增大、步态周期缩短。Davis 等^[5]发现，与裸足和封闭式拖鞋相比，老年人穿着系带休闲鞋时足廓清和足部在鞋腔内的滑移都明显减小。此外，上述研究均表明，与穿鞋相比，老年人裸足行走时步速和步幅降低，步态周期和步幅变异性增加，这可能与习惯性穿鞋者在裸足行走时采取更谨慎的步态有关。

本文认为，提高鞋帮结构的封闭性可能是提高老年人身体稳定性的有效途径。为减少跌倒风险，建议老年人应尽量避免裸足行走。虽然目前所得结论均指向封闭式鞋帮有助于改善老年人身体稳定性，但纳入文献未统一除鞋帮结构以外的鞋履因素，未来研究可以控制其他鞋履因素，进一步探究鞋帮结构对老年人身体稳定性的影响。

3.1.3 鞋帮高度 Cudejko 等^[14]发现，普通极简鞋和高帮极简鞋对老年人站立和行走时 CoP 摆动的影响无差异。Menant 等^[33]也发现，与低帮鞋相比，老年人穿高帮鞋（帮高为 11 cm）行走时重心加速度的变化不显著。高帮鞋最初是为了防止运动中人体踝关节超范围运动而设计^[37]。老年人站立和行走时踝关节的内外翻运动范围较小，故未见高帮鞋对老年人身体稳定性有直接影响。但高帮鞋可通过增大皮肤与鞋帮之间的接触面积提高人体脚踝触觉感知，优化平衡控制^[38]。因此，未来可探究鞋帮高度与老年人跑步、上下楼梯等关节活动度更大任务中稳定性的关系。

3.1.4 鞋合脚性 Doi 等^[34]评估老年人长期穿着日常用鞋和穿着尺寸合适的鞋在步态上的差异，发现大部分老年人的日常用鞋合脚性差，且与日常用

鞋相比，老年人穿着合脚性好的鞋行走时步速更快，步幅更大，步态规律性更佳。由此可见，合脚的鞋可能对老年人身体稳定性具有积极作用。但目前针对鞋合脚性的研究大多聚焦于其与舒适度及足部疾病的关系，缺乏直接评估鞋合脚性对老年人身体稳定性影响的研究^[39]。未来研究可进一步评估鞋合脚性和老年人身体稳定性之间的关系。

3.2 鞋垫与身体稳定性

为保持平衡，身体需要通过感觉与肌肉骨骼系统的反馈来确定周围环境的信息。鞋垫作为鞋具与足底直接接触的界面，在影响足底感觉信息反馈和调节足底受力等方面起着重要作用^[40]。本节纳入的相关文献探究了纹理鞋垫、振动鞋垫、鞋垫硬度和支撑性鞋垫对老年人身体稳定性的影响。

3.2.1 纹理鞋垫 Hatton 等^[9]探究纹理鞋垫对有跌倒史老年人身体稳定性的影响，发现与光面鞋垫相比，有跌倒史的老年人穿着带有四棱锥形凸起的纹理鞋垫行走时的步速和步幅降低。Barbosa 等^[16]发现，与无鞋垫相比，高跌倒风险老年人穿着光面和带四棱锥形凸起的纹理鞋垫 4 周后的 Berg 平衡量表得分（Berg balance scale, BBS）和 TUG 得分均有提高，但两种鞋垫的效果无显著差异。Qiu 等^[30]使用一种表面均匀分布着颗粒（直径 5.0 mm，高度 3.1 mm）的纹理鞋垫，发现与裸足相比，老年人穿着纹理鞋垫站立时 90% CoP 包络面积及内外侧向 CoP 标准偏差降低。Annino 等^[35]使用表面分布有小鹅卵石状突起的纹理鞋垫，发现与光面鞋垫相比，老年人穿着纹理鞋垫闭眼站立时的内外侧向 CoP 摆动速度降低。Li 等^[15]使用带有 8 个凸起结节（分别位于跖趾、脚趾和脚跟）的纹理鞋垫，发现与光面鞋垫相比，老年人穿着纹理鞋垫站立和行走时的 CoP 内外侧摆动速率及摆动范围降低。

本文认为，纹理鞋垫可能是一种优化老年人身体稳定性的实用性途径，但不同纹理表面鞋垫的效果存在差异，纹理的间距、粗糙度和方向等都是影响纹理鞋垫效果的关键因素，未来研究可对比不同纹理表面对老年人身体稳定性的影响，以确定合理的鞋垫表面纹理设计。

3.2.2 振动鞋垫 Wang 等^[29]发现，与无振动相比，有跌倒史的老年人在接受振动鞋垫刺激后站立时的 CoP 前后向位移降低。Lipsitz 等^[19]发现，与无

振动相比,老年人在70%或85%触觉阈值的振动刺激下站立时的CoP包络面积降低,TUG用时缩短,行走时的步态周期缩短,步长更大。Liang等^[10]发现,与无振动相比,脑卒中患者穿戴阈上振动刺激鞋垫行走时足廓清和踝关节屈曲增加。Lee等^[26]发现,脑卒中患者在接受足底局部阈上振动刺激6周后站立时CoP摆动速度降低,行走时步速、步长和步频增大。由此可见,振动刺激对老年人身体稳定性具有积极作用,阈上振动可作为一种改善平衡能力严重缺陷人群身体稳定性的方式。但现目前研究只根据人体感觉阈值将振动刺激强度分为阈值以下或阈值以上,对于具体的有效振动强度范围还有待深入研究。

3.2.3 鞋垫硬度 Antonio等^[24]发现,老年人穿着软鞋垫(Shore A-15)、中等硬度鞋垫(Shore A-33)和硬质鞋垫(Shore A-50)下楼梯时的CoM-BoS(重心垂直投影到足部边界的最小距离)的差异不显著。而Iglesias等^[28]发现,与软质鞋垫相比,穿着硬鞋垫时Romberg指数更低,稳定性更好。Qu等^[18]研究也表明,与软鞋垫相比,穿着硬质鞋垫行走时CoM-BoS更大。由此可见,硬质鞋垫可能是提高稳定性的有效途径。但随着硬度增加,地面反作用力缓冲减小,对关节保护越差,舒适度也降低^[41]。因此,未来研究可深入探讨合适的硬度范围,以提高身体稳定性的同时满足穿用舒适性。

3.2.4 支撑性鞋垫 Chen等^[23]使用带有后跟杯的足弓支撑鞋垫对老年人进行8周的干预,发现与干预前相比,老年人穿着鞋垫后站立时的CoP位移降低。Barbosa等^[25]发现,与未干预的老年骨质疏松患者相比,使用带有跖骨垫的足弓支撑鞋垫进行4周干预的患者BBS得分和TUG测试得分均有明显改善。Qu等^[18]发现,与纹理鞋垫和硬质鞋垫相比,老年人穿着后跟杯鞋垫(后跟边缘高约15 mm)行走时CoM-BoS增大。Peng等^[11]发现,老年人穿着足弓支撑鞋垫1周后行走的步长、步速和步频均增大。由此可见,支撑性鞋垫能优化老年人站立和行走稳定性,推测原因是这类鞋垫可有效地改善足部压力分布,增强足底感觉反馈的结果^[42]。

综上所述,鞋具对老年人身体稳定性存在一定影响,鞋底厚度和硬度、振动刺激和纹理鞋垫等多通过影响人体感知能力来影响平衡控制,鞋底跷度

或宽度可能通过改变步态模式或姿势策略来影响稳定性。此外,研究发现,稳定性与缓冲性之间存在制约关系,硬而薄的鞋底与良好的稳定性相关^[13-14];相比之下,软而厚的鞋底能带来较好的缓冲。鞋具穿用效果是稳定性与缓冲性等方面的综合结果。因此,在不牺牲缓冲性的条件下,设计老年鞋应尽可能提高老年人穿用时的最佳稳定性。

4 结论与展望

本文综述了鞋具对老年人稳定性的影响。总体而言,对于促进老年人身体稳定性的鞋具因素虽有一定指向性,但还未形成统一定论。结果表明,有鞋带等束缚物、鞋跟低、鞋底宽且合脚的鞋、振动鞋垫和支撑性鞋垫有助于改善老年人身体稳定性;鞋底跷度过大、硬度过小可能对老年人身体稳定性造成不利影响,鞋底厚度和硬度、鞋垫不同纹理特征的影响尚存在争议。

未来研究可在鞋底的厚度和硬度等方面选择更细致的变量梯度,确定既满足舒适性又改善稳定性的变量范围;此外,可探究鞋帮高度对上下楼梯、慢跑等更具有挑战性任务中老年人身体稳定性的影响;可尝试系统研究纹理鞋垫这种成本低且实用性高的干预手段对稳定性的影响;最后,不同鞋具因素之间相互作用的研究较为缺乏,未来可在此方面进行探索,优化鞋类设计,以增强老年人的身体稳定性,降低摔倒风险。

参考文献:

- [1] 耳玉亮,金叶,叶鹏鹏,等. 1990年与2013年中国70岁及以上老年人跌倒疾病负担分析[J]. 中华流行病学杂志, 2017, 38(10): 1330-1334.
- [2] 王少君,苏丽娜,李静先,等. 老年男性和年轻男性行走时足底动力学特征差异[J]. 医用生物力学, 2021, 36(2): 304-308.
WANG SJ, SU LN, LI JX, et al. Comparison of the characteristics of plantar kinetics in older and young male adults during walking [J]. J Med Biomech, 2021, 36(2): 304-308.
- [3] 张猛,王凤,宋旭,等. 常用锻炼方式对老年女性静态平衡能力的影响[J]. 医用生物力学, 2018, 33(3): 267-272.
ZHANG M, WANG F, SUONG X, et al. Influence of common exercise methods on static balance ability in elderly women [J]. J Med Biomech, 2018, 33(3): 267-

- 272.
- [4] HATTON AL, ROME K. Falls, footwear, and podiatric interventions in older adults [J]. *Clin Geriatr Med*, 2019, 35(2): 161-171.
- [5] DAVIS AM, GALNA B, MURPHY AT, *et al.* Effect of footwear on minimum foot clearance, heel slippage and spatiotemporal measures of gait in older women [J]. *Gait Posture*, 2016, 44: 43-47.
- [6] MENZ HB, AUHL M, MUNTEANU S E. Effects of indoor footwear on balance and gait patterns in community-dwelling older women [J]. *Gerontology*, 2017, 63(2): 129-136.
- [7] HATTON AL, DIXON J, ROME K, *et al.* Standing on textured surfaces: Effects on standing balance in healthy older adults [J]. *Age Ageing*, 2011, 40(3): 363-368.
- [8] PRIPLATA AA, PATRITTI BL, NIEMI JB, *et al.* Noise-enhanced balance control in patients with diabetes and patients with stroke [J]. *Ann Neuro*, 2006, 59(1): 4-12.
- [9] HATTON AL, DIXON J, ROME K, *et al.* Altering gait by way of stimulation of the plantar surface of the foot: The immediate effect of wearing textured insoles in older fallers [J]. *J Foot Ankle Res*. 2012, 5(Suppl 1): 11.
- [10] LIANG JN, HO KY, HUNG V, *et al.* Effects of augmented somatosensory input using vibratory insoles to improve walking in individuals with chronic post-stroke hemiparesis [J]. *Gait Posture*, 2021, 86(12): 77-82.
- [11] PENG HT, LIN CH, KUO YC, *et al.* Effects of arch support insoles on single- and dual-task gait performance among community-dwelling older adults [J]. *Clin Interv Aging*, 2020, 15(1): 1335-1332.
- [12] BÜYÜKTURAN Ö, DEMIRCI S, BÜYÜKTURAN B, *et al.* Effects of using insoles of different thicknesses in older adults: Which thickness has the best effect on postural stability and risk of falling? [J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2020, 110(6): 1-16.
- [13] CUDEJKO T, GARDINER J, AKPAN A, *et al.* Minimal shoes improve stability and mobility in persons with a history of falls [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 1-10.
- [14] CUDEJKO T, GARDINER J, AKPAN A, *et al.* Minimal footwear improves stability and physical function in middle-aged and older people compared to conventional shoes [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 139-145.
- [15] LI PL, YICK KL, NG SP, *et al.* Influence of textured indoor footwear on posture stability of older women based on center-of-pressure measurements [J]. *Hum Factors*, 2019, 61(8): 1247-1260.
- [16] DE MORAIS BARBOSA C, BÉRTOLO MB, GAINO JZ, *et al.* The effect of flat and textured insoles on the balance of primary care elderly people: A randomized controlled clinical trial [J]. *Clin Interv Aging*, 2018, 13(1): 277-284.
- [17] MENZ HB, AUHL M, MUNTEANU SE. Preliminary evaluation of prototype footwear and insoles to optimise balance and gait in older people [J]. *BMC Geriatr*, 2017, 17(1): 1-8.
- [18] QU XD. Impacts of different types of insoles on postural stability in older adults [J]. *Appl Ergon*, 2015, 46(1): 38-43.
- [19] LIPSITZ LA, LOUGH M, NIEMI J, *et al.* A shoe insole delivering subsensory vibratory noise improves balance and gait in healthy elderly people [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96(3): 432-439.
- [20] ROMAN DE METTELINGE T, CALDERS P, DANNEELS E, *et al.* Does Footwear matter when performing spatiotemporal gait analysis among older women? [J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2015, 38(4): 155-161.
- [21] THIES SB, PRICE C, KENNEY LP, *et al.* Effects of shoe sole geometry on toe clearance and walking stability in older adults [J]. *Gait Posture*, 2015, 42(2): 105-109.
- [22] YAMAGUCHI T, CHENG KC, MCKAY SM, *et al.* Footwear width and balance-recovery reactions: A new approach to improving lateral stability in older adults [J]. *Gerontechnology*, 2015, 13(3): 359-367.
- [23] CHEN TH, CHOU LW, TSAI MW, *et al.* Effectiveness of a heel cup with an arch support insole on the standing balance of the elderly [J]. *Clin Interv Aging*, 2014, 9(1): 351-356.
- [24] ANTONIO PJ, PERRY SD. Quantifying stair gait stability in young and older adults, with modifications to insole hardness [J]. *Gait Posture*, 2014, 40(3): 429-434.
- [25] DE MORAIS BARBOSA C, BARROS BÉRTOLO M, MARQUES NETO JF, *et al.* The effect of foot orthoses on balance, foot pain and disability in elderly women with osteoporosis: A randomized clinical trial [J]. *Rheumatology*, 2013, 52(3): 515-522.
- [26] LEE SW, CHO KH, LEE WH. Effect of a local vibration stimulus training programme on postural sway and gait in chronic stroke patients: A randomized controlled trial [J]. *Clin Rehabil*, 2013, 27(10): 921-931.
- [27] 费锐, 李松竹, 付景恒. 鞋跟高度对中老年女性步态及下肢受力的影响[J]. *中国皮革*, 2013, 42(14): 124-126.
- [28] LOSA IGLESIAS ME, DE BENGEO VALLEJO RB, PALACIOS PEÑA D. Impact of soft and hard insole density on postural stability in older adults [J]. *Geriatr Nurs*, 2012, 33(4): 264-271.
- [29] WANG CC, YANG WH. Using detrended fluctuation analysis (DFA) to analyze whether vibratory insoles enhance balance stability for elderly fallers [J]. *Arch Gerontol Geriatr*, 2012, 55(3): 673-676.
- [30] QIU F, COLE MH, DAVIDS KW, *et al.* Enhanced

- somatosensory information decreases postural sway in older people [J]. *Gait Posture*, 2012, 35(4): 630-635.
- [31] KIM JS, FELL DW, CHA YJ, *et al.* Effects of different heel heights on plantar foot pressure distribution of older women during walking [J]. *J Phys Ther Sci*, 2012, 24(11): 91-94.
- [32] BRENTON-RULE A, BASSETT S, WALSH A, *et al.* The evaluation of walking footwear on postural stability in healthy older adults: An exploratory study [J]. *Clin Biomech*, 2011, 26(8): 885-887.
- [33] MENANT JC, STEELE JR, MENZ HB, *et al.* Step time variability and pelvis acceleration patterns of younger and older adults: Effects of footwear and surface conditions [J]. *Res Sports Med*, 2011, 19(1): 28-41.
- [34] DOI T, YAMAGUCHI R, ASAI T, *et al.* The effects of shoe fit on gait in community-dwelling older adults [J]. *Gait Posture*, 2010, 32(2): 274-278.
- [35] ANNINO G, PALAZZO F, ALWARDAT M S, *et al.* Effects of long-term stimulation of textured insoles on postural control in health elderly [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2018, 58(4): 377-384.
- [36] 李晨迪, 吴昱, 戴尅戎, 等. 一种基于加速度信号的步态稳定性研究[J]. *医用生物力学*, 2019, 34(1): 91-97.
- LI CD, WU Y, DAI KR, *et al.* Assessment of gait stability using acceleration signal [J]. *J Med Biomech*, 2019, 34(1): 91-97.
- [37] 傅维杰, 何俊良, 王熙, 等. 鞋帮高度对跳跃动作踝关节矢状面运动学及动力学特征的影响[J]. *医用生物力学*, 2015, 30(6): 528-534.
- FU WJ, HE JL, WANG X, *et al.* Effects of shoe collar height on kinematics and kinetics of ankle joint in sagittal plane under different jumping maneuvers [J]. *J Med Biomech*, 2015, 30(6): 528-534.
- [38] MENZ HB, LORD SR. Footwear and postural stability in older people [J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 1999, 89(7): 346-357.
- [39] O' ROURKE B, WALSH M E, BROPHY R, *et al.* Does the shoe really fit? Characterising ill-fitting footwear among community-dwelling older adults attending geriatric services: An observational cross-sectional study [J]. *BMC Geriatr*, 2020, 20(1): 1-8.
- [40] PERRY SD, RADTKE A, MCILROY WE, *et al.* Efficacy and effectiveness of a balance-enhancing insole [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2008, 63(6): 595-602.
- [41] 宋雅伟, 寇恒静, 张曦元. 不同硬度鞋底在人体行走中的足底肌电变化[J]. *中国康复医学杂志*, 2010, 25(12): 1157-1165.
- [42] NAKAJIMA K, KAKIHANA W, NAKAGAWA T, *et al.* Addition of an arch support improves the biomechanical effect of a laterally wedged insole [J]. *Gait Posture*, 2009, 29(2): 208-213.