

不同年龄正常人步行后足底压力中心轨迹的变化

范文祥 倪朝民 刘孟 穆景颂 刘郑 刘丽玲

中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)康复医学科,合肥 230000

通信作者:倪朝民,Email:ahslynychm@163.com

【摘要】 目的 探讨不同年龄组正常人步行后足底压力中心轨迹的变化。**方法** 选取正常受试者 50 例,分为青年组和老年组,每组 25 例。采用 AL-600 型步态与平衡功能训练评估系统对 2 组受试者进行步态测试,分别测试 2 组受试者步行前、步行 10 min 后及步行 15 min 后步态相关参数变化,步态检测指标包括各时间段足底压力中心总轨迹长(COPD)、足底压力中心在左右(COPD-X)及前后(COPD-Y)方向的平均偏移。**结果** 与组内步行前比较,老年组步行 10 min 及 15 min 后的 COPD、COPD-X、COPD-Y 均增大($P<0.05$),青年组仅步行 15 min 后 COPD[(37.73±2.16)cm]、COPD-X[(1.95±0.22)cm]、COPD-Y[(2.11±0.27)cm]增大($P<0.05$)。老年组各时间点的 COPD、COPD-X 及 COPD-Y 均较青年组大($P<0.05$)。**结论** 老年人步行后的足底压力中心轨迹值增大;青年人步行初始阶段的足底压力中心轨迹值变化不大,但延长步行时间后,相关参数值增大,且步态稳定性下降。

【关键词】 足底压力中心; 年龄; 地面反作用力; 步态

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.04.012

Changes of the center of plantar pressure at different ages after walking

Fan Wenxiang, Ni Chaomin, Liu Meng, Mu Jingsong, Liu Zheng, Liu Liling

Department of Rehabilitation Medicine, The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230000, China

Corresponding author: Ni Chaomin, Email: ahsllynchm@163.com

【Abstract】 Objective To explore any changes with age in the center of plantar pressure among normal people after walking. **Methods** Fifty healthy subjects were divided into a young group and an elderly group, each of 25. Gait descriptors were collected for each subject using a model AL-600 gait and balance training and evaluation apparatus. The gait descriptors were the center of pressure displacement (COPD), and the COPD in the medial-lateral (COPD-X) and anterior-posterior (COPD-Y) directions before and after 10 and 15 minutes of walking. **Results** The average COPD, COPD-X and COPD-Y of the elderly group increased after both 10 and 15 minutes of walking, but among the young group increases were observed only after 15 minutes. The average COPD, COPD-X and COPD-Y of the elderly group were always significantly larger than the young group's averages. **Conclusions** Gait stability among the elderly decreases after as little as 10 minutes of walking, but among the young decreases are observed only after 15 minutes.

【Key words】 Plantar pressure; Age; Ground reaction force; Gait

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.04.012

人能够直立行走依赖于其对身体姿势的控制能力^[1]。康复治疗的目的主要是提高患者的日常生活自理及社会参与能力。这些功能活动能否独立完成与平衡及步行功能密切相关。步行活动的实现,不仅要求机体在静息状态或开始步行前有良好的平衡功能及步态稳定性,还要求这种良好的稳定性能贯穿于整个步行过程、直至步行结束。近年来,多项研究表明,足底压力中心轨迹变化可作为分析人体平衡和步行机制

的重要指标^[2-4]。然而,目前大多数关于脑卒中、脑外伤等合并有平衡步行功能障碍患者的步态研究,仅关注静态的姿势平衡或步行初始阶段^[5-7]。在患者恢复独立步行后,其步态稳定性很少受到关注。本研究观察不同年龄组正常人步行后足底压力中心轨迹的变化,旨在更好地了解不同人群步行后步态稳定性相关参数的变化,以评估步行稳定性、降低步行跌倒的风险。

对象与方法

一、研究对象

纳入标准:①意识清醒,生命体征稳定;②不需任何辅助,能自然站立及行走,下肢和足部各关节活动正常,在测试前 24 h 内未参加过剧烈运动,无肌肉疲劳症状;③青年人和老年人年龄分别为 20~39 岁和 60~79 岁,能听懂指令,且愿意配合相关检测,签署知情同意书。排除标准:①合并有严重认知功能障碍,简易精神状态检查量表 (mini-mental state examination, MMSE) 评分^[4] ≤24 分;②有精神障碍,不能配合研究或长期使用镇静剂;③合并有严重心、肺、肝、肾功能不全;④合并有其它影响平衡功能及步行能力的神经肌肉骨骼疾病、眼部疾病及前庭系统疾病,如脑卒中、帕金森病、小脑病变、各种骨关节疾病、严重屈光不正、高度近视及美尼尔氏病等。

选取符合上述标准的受试者 50 例,分为青年组和老年组,每组 25 例。其中,青年组 (20~39 岁) 男性 19 例,女性 6 例;老年组 (60~79 岁) 男性 17 例,女性 8 例。本研究已通过安徽省立医院临床研究伦理委员会审核批准 (2013 伦研批第 5 号)。除年龄外,2 组受试者的性别、身高和体重等一般资料比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、研究方法

1.仪器设备:本研究采用 AL-600 型步态与平衡功能训练评估系统 (中国安徽产) 对 2 组受试者进行步态测试。该系统由压力板、信息转换控制器、电脑和分析软件 4 个部分组成。其中,压力板是由 4 块排成一列、铺成 2 m 长的压力步道组成,采样频率为 100 Hz。该系统基于分布式阵列压强传感器的原理,当受试者肢体与压力板接触后,该设备可将压力传感器采集的力学信号转换为数字信号并传入计算机,通过计算机分析软件系统自动处理,并快速生成评估数据。

2.测试方法:测试环境要求在安静、光线柔和、温度适宜的室内。测试前,向受试者说明本研究的目的、测试步骤、要求及注意事项等,使受试者熟悉整个检测过程。测试前,先进行 2 次预测试,使受试者适应测试流程。测试过程:①测试前所有受试者均坐位休息 10 min,脱掉鞋袜后以个人日常步速,从压力步道前

2 m 开始,沿着步道的中线行走,穿过步道后继续行走 2 m,以尽量确保受试者匀速通过压力板;②2 组受试者均在运动平板上步行 10 min (步速设置为 1.25 m/s),然后按前述方法穿过步道;③所有受试者坐位休息 10 min,再次在运动平板上步行 15 min (步速设置为 1.25 m/s),然后按前述方法行足底压力测试。

三、观察指标

步态周期时相,包括支撑相和摆动相。广义的足底压力是指足底与支撑面之间的压力分布。临床上常用的足底压力测试通常是测量支撑相地面反作用力 (该力与足底压力垂直于地面的分力方向相反,但大小相等)。足底压力中心移动轨迹,被定义为地面反作用力的轨迹,从足跟向前足掌方向移动,常用的观察指标有:足底压力中心总轨迹长 (total center of pressure displacement, COPD)、足底压力中心在左右方向的平均偏移 (average center of pressure displacement in medial-lateral direction, COPD-X)、足底压力中心在前后方向的平均偏移 (average center of pressure displacement in anterior-posterior direction, COPD-Y) 等。详见图 1。本研究对 2 组受试者步行前、步行 10 min 后及步行 15 min 后的 COPD、COPD-X、COPD-Y 进行观察并分析。



注:D 表示 COPD,DX 表示 COPD-X,DY 表示 COPD-Y

图 1 步态相关参数示意图

四、统计学方法

采用 SPSS 21.0 版统计学软件包进行数据分析。所有计量资料经 K-S 检验均符合正态性分布,以 ($\bar{x}\pm s$) 形式表示。2 组受试者的 COPD、COPD-X、

表 1 2 组受试者一般资料

组别	例数	性别 (例)		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	身高 (cm, $\bar{x}\pm s$)	体重 (kg, $\bar{x}\pm s$)
		男	女			
青年组	25	19	6	30.6±5.4	170.1±5.2	70.3±4.5
老年组	25	17	8	68.0±4.6	169.0±4.2	68.9±6.3

COPD-Y 组间比较、不同时间点组内比较采用重复测量方差分析, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

一、2 组受试者不同时间点的 COPD 比较

与组内步行前比较,老年组步行 10 min 及 15 min 后的 COPD 均增大($P<0.05$),青年组仅步行 15 min 后 COPD 增大($P<0.05$)。老年组各时间点 COPD 均较青年组大,差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 2。

表 2 2 组受试者不同时间点的 COPD 比较(cm, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	步行前	步行 10 min 后	步行 15 min 后
青年组	25	31.22±1.99	31.81±2.45	37.73±2.16 ^a
老年组	25	44.41±2.55 ^b	48.67±3.16 ^{ab}	54.64±4.35 ^{ab}

注:与组内步行前比较,^a $P<0.05$;与青年组同时时间点比较,^b $P<0.05$

二、2 组受试者不同时间点的 COPD-X 及 COPD-Y 比较

与组内步行前比较,老年组步行 10 min 及 15 min 后的 COPD-X、COPD-Y 均增大($P<0.05$),青年组仅步行 15 min 后 COPD-X、COPD-Y 增大($P<0.05$)。老年组各时间点 COPD-X、COPD-Y 均较青年组大,差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 3、表 4。

表 3 2 组受试者不同时间点的 COPD-X 比较(cm, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	步行前	步行 10 min 后	步行 15 min 后
青年组	25	1.52±0.17	1.55±0.18	1.95±0.22 ^a
老年组	25	1.97±0.28 ^b	2.55±0.22 ^{ab}	3.12±0.30 ^{ab}

注:与组内步行前比较,^a $P<0.05$;与青年组同时时间点比较,^b $P<0.05$

表 4 2 组受试者不同时间点的 COPD-Y 比较(cm, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	步行前	步行 10 min 后	步行 15 min 后
青年组	25	1.60±0.16	1.63±0.17	2.11±0.27 ^a
老年组	25	2.15±0.25 ^b	2.57±0.30 ^{ab}	3.21±0.38 ^{ab}

注:与组内步行前比较,^a $P<0.05$;与青年组同时时间点比较,^b $P<0.05$

讨 论

步态相关参数可在一定程度上反映步行跌倒风险^[4-6]。感觉运动系统的动态调节,对于人在持续行走过程中保持良好的动态平衡至关重要^[8-10]。本研究通过观察不同年龄组正常人步行后足底压力中心轨迹的变化,发现随着步行时间增加,正常老年人足底压力中心相关参数值增大;在步行初始阶段,正常青年人足底压力中心相关参数变化不大,延长步行时间后,其步态稳定性相关参数值增大。

足底压力中心轨迹变化可用于评估老年人的步态稳定性^[5]。有研究表明,COPD、COPD-X 及 COPD-Y 值越大,步态稳定性越差,跌倒风险越高^[5,11-14]。本研究发现,与青年人同时时间点比较,老年人足底压力中心

轨迹的位移较大,提示老年人步态稳定性下降、跌倒风险增加,这与多数研究结果一致^[5,15-16]。老年人较青年人步态稳定性差的机制可能有:①老年人足部及踝关节生理结构的退行性改变,会导致其足部及踝关节稳定性下降^[17],步行时踝关节内外翻幅度增大,导致 COPD-X 增大;②腹直肌、竖脊肌、股直肌、股二头肌、胫骨前肌及腓肠肌在维持人体站立平衡中起重要作用,肌电图检查提示老年人参与维持平衡的主动肌激活及拮抗肌抑制较青年人慢,导致其髋、膝、踝关节控制能力较青年人差^[18],该退变可能与其躯干及下肢肌肉力量减弱有关,会引起老年人步行时身体重心前后及左右摆动增大,进一步导致其 COPD-X 及 COPD-Y 增大;③老年人对身体的运动控制力度减弱及控制速度减慢,当平衡被打破时,需要其做出更多的运动控制并使用更长的反应时间来维持平衡^[16,18-19];④老年人前庭功能及本体感觉减退,也会引起其步态稳定性下降。

本研究结果显示,随着步行时间的延长,老年人的 COPD、COPD-X 及 COPD-Y 逐渐变大,步态稳定性降低,分析原因可能与步行时间延长后,老年人易疲劳,进而出现感觉系统功能减弱、注意力分散及步行相关肌肉力量下降等有关。

本研究还发现,与步行前比较,青年人步行 10 min 后 COPD、COPD-X 及 COPD-Y 变化不大,提示较短时间的步行,未能引起青年人群步行前后的步态稳定性相关参数变化,这与 Parreira 等^[15]的研究结果相似。产生该结果的可能原因有:①青年人足部生理结构和功能相对稳定,足底各部位压力分布较稳定;②青年人步行速度是稳定的,足底压力中心轨迹变化较小^[17];③在姿势稳定性下降、面临跌倒危险时,青年人有足够的自身姿势稳定能力来维持平衡和良好的步态^[16]。但本研究在进一步延长步行时间后,发现青年人 COPD、COPD-X 及 COPD-Y 值均增大,说明青年人在长时间步行后,步态稳定性也有下降,引起这种变化的原因可能是较长时间运动会影响青年人机体的机械感受器功能,使得感觉运动系统执行能力在持续运动过程中不断消耗,进而出现功能下降;且长时间的能量消耗会增加肌肉疲劳,导致足底压力中心轨迹偏移增大^[15]。

综上所述,老年人步行后的足底压力中心轨迹值增大,步态稳定性下降。青年人步行初始阶段的足底压力中心轨迹值变化不大,但延长步行时间后,相关参数值增大。提示适当延长步行时间,可以观察到不同年龄正常人群足底压力中心轨迹的变化,有利于发现步行后步态稳定性差异,为潜在跌倒风险人群(如中老年健康人群、帕金森患者及逐渐恢复行走功能的患

者)的步态稳定性、安全步行时间及步行距离评估提供依据。本研究样本量不大,观察的步行持续时间较短,且未针对性别及职业等因素进行亚组分析,存在一定缺陷,后期将进行深入研究予以完善。

参 考 文 献

- [1] Goble DJ, Khan E, Baweja HS, et al. A point of application study to determine the accuracy, precision and reliability of a low-cost balance plate for center of pressure measurement [J]. *J Biomech*, 2018, 71: 277-280. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.01.040.
- [2] Yan S, Li R, Shi B, et al. Mixed factors affecting plantar pressures and center of pressure in obese children: obesity and flatfoot [J]. *Gait Posture*, 2020, 80: 7-13. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.007.
- [3] Karagiannakis DN, Iatridou KI, Mandalidis DG. Ankle muscles activation and postural stability with star excursion balance test in healthy individuals [J]. *Hum Mov Sci*, 2020, 69: 102563. DOI: 10.1016/j.humov.2019.102563.
- [4] 刘丽玲, 倪朝民, 岳童, 等. 脑卒中偏瘫患者步行时足底压力中心的特点 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2015, 37 (11): 830-834. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2015.011.008.
- [5] 范文祥, 倪朝民, 刘孟, 等. 年龄对正常人步行时足底压力中心轨迹的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40 (3): 174-178. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.03.003.
- [6] Sendur SN, Oguz S, Dagdelen S, et al. Assessment of static and dynamic plantar data of patients with acromegaly [J]. *Pituitary*, 2019, 22 (4): 373-380. DOI: 10.1007/s11102-019-00964-w.
- [7] Cağan L, Cerbu S, Amaricai E, et al. Assessment of static plantar pressure, stabilometry, vitamin D and bone mineral density in female adolescents with moderate idiopathic scoliosis [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17 (6): 2167. DOI: 10.3390/ijerph17062167.
- [8] Lu HL, Kuo MY, Chang CF, et al. Effects of gait speed on the body, s center of mass motion relative to the center of pressure during overground walking [J]. *Hum Mov Sci*, 2017, 54: 354-362. DOI: 10.1016/j.humov.2017.06.004.
- [9] Hu X, Zhao J, Peng D, et al. Estimation of foot plantar center of pressure trajectories with low-cost instrumented insoles using an individual-specific nonlinear model [J]. *Sensors (Basel)*, 2018, 18 (2): 421. DOI: 10.3390/s18020421.
- [10] Ikeda K, Suehiro K, Kizu A, et al. Examination of center of pressure displacement and muscle activity of the hip girdle muscles on lateral movement in the sitting position, focusing on kinematic features before and after the start of exercise [J]. *J Phys Ther Sci*, 2017, 29 (3): 442-447. DOI: 10.1589/jpts.29.442.
- [11] 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]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2020, 71: 139-145. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2019.11.005.
- [12] Yamamoto T, Hoshino Y, Kanzaki N, et al. Plantar pressure sensors indicate women to have a significantly higher peak pressure on the hallux, toes, forefoot, and medial of the foot compared to men [J]. *J Foot Ankle Res*, 2020, 13 (1): 40. DOI: 10.1186/s13047-020-00410-2.
- [13] Kuzuyama M, Perrier J, Kusaki Y, et al. Characteristics of plantar pressure distribution in elite male soccer players with or without history of proximal fifth metatarsal fracture: a case-control study [J]. *J Phys Ther Sci*, 2019, 31 (7): 530-535. DOI: 10.1589/jpts.31.530.
- [14] Gwynne CR. Alterations in center of pressure during single-limb loading in individuals with patellofemoral pain [J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2020, 110 (2): 5. DOI: 10.7547/18-070.
- [15] Parreira RB, Boer MC, Rabello L, et al. Age-related differences in center of pressure measures during one-leg stance are time dependent [J]. *J Appl Biomech*, 2013, 29 (3): 312-316. DOI: 10.1123/jab.29.3.312.
- [16] Hamacher D, Törrpel A, Hamacher D, et al. The effect of physical exhaustion on gait stability in young and older individuals [J]. *Gait Posture*, 2016, 48: 137-139. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.05.007.
- [17] McKay MJ, Baldwin JN, Ferreira P, et al. Spatiotemporal and plantar pressure patterns of 1000 healthy individuals aged 3-101 years [J]. *Gait Posture*, 2017, 58: 78-87. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.07.004.
- [18] Kasahara S, Saito H. Mechanisms of postural control in older adults based on surface electromyography data [J]. *Hum Mov Sci*, 2021, 78: 102803. DOI: 10.1016/j.humov.2021.102803.
- [19] Delmas S, Watanabe T, Yacoubi B, et al. Age-associated increase in postural variability relate to greater low-frequency center of pressure oscillations [J]. *Gait Posture*, 2021, 85: 103-109. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.12.019.

(修回日期: 2022-02-27)

(本文编辑: 凌 琛)