

·综述·

老年人侧向姿势控制的国内外现状研究*

王少君¹ 苏丽娜¹ 徐冬青^{2,3}

影响老年人跌倒的因素众多,其中神经肌肉控制和感觉运动功能下降会损害老年人的姿势控制功能^[1-2],导致跌倒风险的增加。受解剖结构的影响,衰老对人体侧向姿势控制的影响更为明显^[3]。单脚站立、直行避让、弯道行走、斜坡支撑等活动增加了老年人侧向姿势控制的难度^[4-6],上述活动中身体质心的不当移动将改变老年人侧向姿势控制的策略,进而可能诱发跌倒的发生^[7]。跌倒导致的髋部骨折极大地降低老年人愈后的生活质量和减少老年人预期的寿命^[8]。因此揭示老年人侧向姿势控制能力下降的机制,深入分析相关影响因素,探索有效的干预措施对于提高老年人侧向姿势控制能力,预防老年人跌倒具有非常重要的研究意义。

1 侧向姿势控制研究方法

干扰方法在侧向姿势控制的研究中起到非常重要的作用,研究结论受制于干扰方法。Mansfield等^[9]的研究中比较了足底干扰触发平台和前倾诱发迈步装置诱发人体姿势反射的差异,发现前者产生的姿势干扰更大,受试者踝关节力矩和身体质心的位移更大,指出足底干扰触发平台在研究衰老对机体产生影响的研究中更为高效。

1.1 视觉反馈质心侧向调节示踪系统

视觉反馈质心侧向调节示踪系统应用D-flow 3.10.0软件(Motek Medical, Amsterdam, The Netherlands)在距受试者2.5m的前方显示器显示白色圆球的目标信号;运动解析系统Optotrak Certus system(NDI, Waterloo, Ontario, Canada)通过人体冠状面的9个标记点(前额点、左右肩峰点、左右髂前上棘点、左右膝点和左右踝点)计算人体质心坐标,该质心轨迹为追踪信号,显示器上以红色圆球显示;目标信号移动范围为50%站立宽度,分为两种模式,一种模式是可预测的一个递增频率的正弦波,另外一种模式是递增频率的6个连续正弦波;受试者通过调整自身的质心去追踪目标信号;目标信号和追踪信号的相移、增益和相关性用于评价受试者的侧向姿势控制能力^[2,10]。

1.2 腰部侧拉干扰

腰部侧拉姿势干扰系统用于研究衰老和平衡能力下降对人体侧向姿势控制的影响。该干扰牵拉位移为4.5—22.5cm,牵拉速度为8.6—50.0cm/s,牵拉加速度为180—900cm/s²,干扰幅度参数设定为1—5级,1级最小,5级最大。通过观察每个干扰幅度下的姿势反应,发现腰部侧拉干扰时老年人通常采用牵拉侧下肢迈步策略、非牵拉侧下肢前交叉迈步策略、非牵拉侧下肢后交叉迈步策略和非牵拉侧下肢向内迈步策略;递增干扰幅度中引起迈步的幅度称为平衡耐受极限^[11]。

1.3 前倾诱发迈步装置

前倾诱发迈步装置通过给受试者10%体重^[12]或20%体重^[13]的后拉力使其躯干向前倾,在后拉力突然消失后诱发主动侧下肢向前迈步,观察受试者迈步侧下肢的关节角度^[13]、关节受力^[13]、干扰迈步的时间、地面反作用力向量和足底压力中心与身体质心连线夹角的变化^[12],从而评价受试者的侧向姿势稳定性。

1.4 步态分析

步态分析单支撑相的侧向稳定性,或以50%正常步宽分析受试者在单支撑相侧向姿势控制中生物力学参数影响的变化^[14]。采取直径为1m和2m的圆弧行走,与正常行走的身体质心侧向加速度、身体质心与支撑面倾斜角度、步长进行比较,分析机体侧向稳定性的变化^[5]。要求受试者自然站立时自主侧向迈步,分析受试者迈步策略^[15]和足底压力中心参数的变化^[16]。

1.5 足底干扰触发平台

足底干扰触发平台为受试者提供随机的侧向干扰。本课题组前期研究中使用的干扰触发平台可以随机提供左右方向的水平干扰,其参数为:面积70cm×50cm,位移9cm,速度20cm/s,加速度为200cm/s²^[1]。Arvin等研究的干扰位移为10cm,触发平台的干扰速度为12cm/s^[2]。Yamaguchi等采用的触发平台面积为2m×2m,受试者可以站立或原地行走接受加速度为200cm/s²,速度为60m/s,位移为18cm的水平干扰,其加速度甚至可调节至300cm/s²^[17]。Wang^[1]和Arvin^[2]主

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.08.026

*基金项目:天津市自然科学基金项目(15JCYBJCZ5800)

1 北方民族大学体育学院,宁夏银川市,750021; 2 天津体育学院健康与运动科学系; 3 通讯作者
作者简介:王少君,男,硕士,助教; 收稿日期:2018-02-06

要观察受试者在不迈步时的姿势反应,Yamaguchi等^[17]观察受试者产生迈步时的姿势变化。

2 姿势干扰后的行为学和生物力学变化

2.1 运动控制策略

行走单支撑相时人体侧向姿势调控的支撑面宽度要比前后方向支撑面宽度小得多,因此单支撑相时侧向姿势控制需要更为精细的人体质心调节能力。当支撑足落地时,由两个不同水平的控制策略来调节身体质心侧向加速度的变化;第一水平控制在距下关节,第二水平控制在髋关节;由足部位置变化引起的较小姿势干扰时,由踝关节外展力矩和距下关节以上身体的被动加速度力矩来抵消重力矩对于侧向姿势控制产生的影响;当干扰较大时,由髋关节外展力矩和头部、躯干和摆动腿产生的加速度力矩来抵消重力矩对于侧向姿势控制产生的影响;人体侧向质心的调控是踝关节外展力矩和髋关节外展力矩协同控制的结果^[18]。

腰部侧拉干扰时,人体会出现受牵拉侧向外迈步、受牵拉侧前方向内交叉迈步、受牵拉侧后方向内交叉迈步和受牵拉侧中间向内交叉迈步4种控制策略^[11];年轻人选择第一种迈步方式,而老年人通常采用第二种和第三种迈步方式,当老年人选择和年轻人一样的迈步方式时,会出现迈步缓慢、步长和抬腿高度的增加,并且躯干参与调解的时间延长^[19]。未有跌倒史的老年人常采用受牵拉侧后方交叉迈步;而有跌倒史的老年人常采用受牵拉侧中间向内交叉迈步策略,选择该策略可能会造成迈步腿和支撑腿之间发生碰撞,进而导致跌倒的发生^[11]。

自主侧向迈步干扰时,年轻人常采取非负重侧下肢迈步策略,而老年人通常采取较为保守的负重侧迈步策略,偶尔采取非负重侧下肢迈步策略和混合式的迈步策略^[15]。

近期的研究仍集中于迈步反射时髋关节策略引起的人体姿势调控的变化,而对于踝关节策略和抓扶策略^[8]研究较少。

2.2 生物力学变化

前倾诱发迈步的实验发现,同年轻人相比较老年人的地面反作用力及踝关节应力出现明显增大^[13];老年人出现再调整时地面反作用力用时更长,身体质心的侧向位移更大^[12]。腰部侧拉干扰诱发老年人交叉迈步时,老年人在单腿支撑相髋关节的外展力矩产生会延迟并且明显增大^[19],有跌倒史老年人迈步的第一步足底压力中心侧向位移明显增大,并且侧向稳定边界明显缩小^[20];比较单个迈步行和多次迈步行第一步离地时生物力学特征发现交叉迈步行者身体质心到侧向稳定边界明显缩小^[21]。自主侧向迈步的研究中,有跌倒史老年人的迈步反应时延迟、过程包含两次姿势调整的人数明显增多^[15]。但是,迈步后支撑腿的踝关节力矩、迈步腿的踝关节力矩、髋关节力矩、躯干的倾斜、扭转角度、上肢的摆动幅度

等变化未有系统地研究。

3 影响因素

同前后方向相比较,侧向姿势控制的研究还有待于进一步深入。归纳起来,影响侧向姿势控制的影响因素包括肌肉力量、神经肌肉反应、躯体活动度及本体感觉、视觉、前庭觉、预判等。

3.1 肌肉力量

髋关节外展肌肉力量侧向姿势调控起到至关重要的作用^[2]。与年轻人相比较,老年女性髋关节外展力矩下降34%^[22]。对老年人进行腰部侧拉干扰,发现向内迈步的老年人髋关节外展力矩明显小于交叉迈步的老年人^[23],与未发生跌倒的老年人相比较,发生跌倒的老年人髋关节外展力矩出现明显下降^[16]。Rietdyk等^[24]研究发现髋关节和躯干力矩在侧向姿势调控中的贡献约为85%,而踝关节力矩的贡献约为15%。

3.2 神经肌肉反应

本课题组前期发现水平侧向干扰下无规律锻炼老年人胫骨前肌、臀中肌和竖脊肌的神经肌肉反应时和肌电达峰的时间明显地慢于年轻人^[25];同规律锻炼的老年人相比较,无规律锻炼老年人胫骨前肌的神经肌肉反应明显地慢于规律太极拳锻炼者,竖脊肌的神经肌肉反应明显地慢于规律太极拳锻炼者和慢跑锻炼者^[1]。

3.3 躯体活动度及本体感觉

Arvin等^[2]发现发生跌倒老年人的躯干扭转角度会明显下降,在侧向足底平移干扰时髋关节的本体感觉影响侧向的姿势控制。采用震动装置干扰臀中肌本体感觉的研究发现受试者行走的侧向稳定性明显降低^[26],在视觉反馈质心侧向调节示踪系统中的侧向姿势控制能力受到明显影响^[27]。

3.4 视觉

Cofré Lizama等^[10]应用MELBA系统研究老年人视觉反馈侧向质心示踪能力与跑台行走和日常生活三维加速度的侧向加速度的相关性,证实该系统可以诊断老年人平衡能力的轻微损害;在该实验平台下,年轻受试者在缺少视觉传入信息的情况下,身体侧向姿势控制所受影响不大,在有质心视觉反馈的情况下,受试者侧向姿势稳定性提升^[27]。

3.5 前庭觉

Cofré Lizama等通过前庭电刺激对年轻人在MELBA系统中侧向姿势控制能力进行干扰,结果发现受到前庭电刺激干扰使受试者的姿势控制难度出现明显地增加^[27]。未发现其他学者研究前庭觉对侧向姿势控制的影响。

3.6 预判

对比老年人和年轻人在步态起始阶段的预期姿势调整策略,发现年轻人可以通过侧向姿势预期调整调节两侧下肢的承重,从而达到动态姿势稳定性的最佳化^[28]。而在较大幅度的

前后方向足底干扰时,预判对侧向质心的移动作用非常小^[29]。

4 干预措施

前述研究证实髋关节外展、躯干侧倾扭转、踝关节外翻、上肢的摆动或抓扶的肌肉力量,神经肌肉反应,髋关节、踝关节和躯干本体感觉,姿势控制策略皆会影响老年人侧向姿势控制。只要能干预上述影响因素,让老年人上述生理功能得到积极干预,就可能提高老年人的侧向姿势控制能力,预防或减少跌倒的发生。目前,侧向姿势控制大多采用横向比较的研究设计,以不同的姿势干扰方法探究侧向姿势控制的机制和退行性改变对老年人侧向姿势控制的影响,而侧向姿势控制干预的研究较少。

根据前述理论,设计提高老年人髋关节的外展肌肉力量和躯干侧屈和扭转的关节幅度,增加有目的主动侧向迈步、转弯、走平衡木等练习的运动处方可能会提高老年人的侧向姿势控制能力,但缺乏相应的研究支持。本课题组前期研究通过比较规律太极拳锻炼和慢跑锻炼的老年人同无规律锻炼老年人在水平足底侧向干扰下踝关节内外翻肌肉、髋关节外展肌肉和躯干侧屈肌肉的神经反应,对可能影响老年人侧向姿势控制的锻炼项目进行了探索性研究,发现太极拳练习可以加快侧向姿势干扰时的神经肌肉反应速度^[1],太极拳干预可能会提高老年人的侧向姿势控制能力。此外,该研究采用横向比较的研究设计方法,需要更为严谨的研究设计支持该结论。

太极拳是我国一项古老的武术形式,其动作形式柔和、缓慢协调、圆活自然,运动强度可调节,其在提高老年人姿势控制能力、预防老年人跌倒方面独特的作用受到了国内外学者的高度关注。Li和Law的研究发现^[31]老年人完成太极拳动作时身体质心的垂直和侧向位移^[30]、髋关节外展力矩、踝关节外翻力矩、产生最大髋关节和踝关节最大外展力矩的时间皆明显地大于正常行走。这些研究结论发现太极拳练习增加了老年人的侧向姿势挑战,提示长期太极拳锻炼可能提高髋关节外展和踝关节外翻的肌肉力量,但需要进一步研究证实。最新的Meta分析结果证实太极拳可以预防老年人跌倒的发生^[32],但是仍需要更多的原理循证研究解释其预防老年人跌倒的生物力学机制。

研究证实太极拳可以显著地提高膝关节和踝关节前后方向的本体感觉^[33],而对于练习者踝关节、髋关节和躯干在侧向本体感觉的影响未见有研究报道,老年人踝关节、髋关节和躯干的本体感觉在侧向姿势控制中起到至关重要的作用。此外,增加鞋宽度在不影响老年人活动和敏捷性能力的情况下,使其在侧向足底水平干扰时迈步发生率降低了1/4^[17]。

综上所述,侧向姿势控制干预的研究十分缺乏,太极拳的生物力学特征和少量研究提示其可能对老年人侧向姿势

控制有独特的干预效果,但需要有力的证据支持。

5 小结

尽管众多学者采用不同的姿势干扰方法探究姿势控制的机制以及增龄化进程对于侧向姿势控制的影响,但是还需要更为深入的研究来认识侧向姿势控制的机制以及侧向姿势控制的干预措施对老年人侧向姿势控制退行性变化的影响,需要更高等级研究证据支持相关的结论。

参考文献

- [1] Wang Shaojun, Xu Dongqing, Li Jingxian. Effects of regular Tai Chi practice and jogging on neuromuscular reaction during lateral postural control in older people[J]. Research in Sports Medicine, 2017, 25(1): 111—117.
- [2] Arvin Mina, Dieën Jaap-H.-van, Faber Gert-S, et al. Hip abductor neuromuscular capacity: A limiting factor in mediolateral balance control in older adults?[J]. Clinical Biomechanics, 2016, 37: 27—33.
- [3] Singer JC, Mcilroy WE, Prentice SD. Kinetic measures of restabilisation during volitional stepping reveal age-related alterations in the control of mediolateral dynamic stability[J]. Journal of Biomechanics, 2014, 47(14): 3539—3545.
- [4] Acasio J, Wu M, Fey N P, et al. Stability-maneuverability trade-offs during lateral steps[J]. Gait & Posture, 2016, 52: 171.
- [5] Xu R, Wang X, Yang J, et al. Comparison of the COM-FCP inclination angle and other mediolateral stability indicators for turning[J]. Biomedical Engineering Online, 2017, 16(1):37.
- [6] Lee SY, Park SY. The study of trunk and pelvic movement on mediolateral ramps of various ramp angles during one-legged standing[J]. Journal of Exercise Rehabilitation, 2017, 13(4): 441—445.
- [7] Robinovitch SN, Feldman F, Yang Y, et al. Video capture of the circumstances of falls in elderly people residing in long-term care: an observational study[J]. Lancet, 2013, 381(9860):47—54.
- [8] 高纪明, 王少君, 徐冬青. 侧向稳定性与老年人跌倒[J]. 中国老年学, 2010, 30(17): 2540—2542.
- [9] Mansfield A, Maki BE. Are age-related impairments in change-in-support balance reactions dependent on the method of balance perturbation?[J]. Journal of Biomechanics, 2009, 42(8):1023—1031.
- [10] Eduardo CLL, Pijnappels M, Rispens SM, et al. Mediolateral balance and gait stability in older adults[J]. Gait & Posture, 2015, 42(1): 79—84.

- [11] Bair WN, Prettyman MG, Beamer BA, et al. Kinematic and behavioral analyses of protective stepping strategies and risk for falls among community living older adults[J]. *Clinical Biomechanics*, 2016, 36:74—82.
- [12] Singer JC, Prentice SD, Mcilroy WE. Age-related challenges in reactive control of mediolateral stability during compensatory stepping: A focus on the dynamics of restabilisation[J]. *Journal of Biomechanics*, 2016, 49(5): 749—755.
- [13] King GW, Akula CK, Luchies CW. Age-related differences in kinetic measures of landing phase lateral stability during a balance-restoring forward step[J]. *Gait & Posture*, 2012, 35(3):440—445.
- [14] Mazaheri M, Roerdink M, Duysens J, et al. Attentional costs of walking are not affected by variations in lateral balance demands in young and older adults[J]. *Gait & Posture*, 2016, 46:126.
- [15] Sparto PJ, Jennings JR, Furman JM, et al. Lateral step initiation behavior in older adults[J]. *Gait & Posture*, 2014, 39(2):799—803.
- [16] Porter S, Nantel J. Older adults prioritize postural stability in the anterior-posterior direction to regain balance following volitional lateral step[J]. *Gait & Posture*, 2015, 41(2): 666—669.
- [17] 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 International Journal on the Fundamental Aspects of Technology to Serve the Ageing Society*, 2015, 13(3):359.
- [18] Mackinnon CD, Winter DA. Control of whole body balance in the frontal plane during human walking[J]. *Journal of Biomechanics*, 1993, 26(6):633—644.
- [19] Mille ML, Johnson ME, Martinez KM, et al. Age-dependent differences in lateral balance recovery through protective stepping[J]. *Clinical Biomechanics*, 2005, 20(6):607—616.
- [20] Fujimoto M, Bair WN, Rogers MW. Center of pressure control for balance maintenance during lateral waist-pull perturbations in older adults[J]. *Journal of Biomechanics*, 2015, 48(6):963.
- [21] Fujimoto M, Bair WN, Rogers MW. Single and multiple step balance recovery responses can be different at first step lift-off following lateral waist-pull perturbations in older adults[J]. *Journal of Biomechanics*, 2017, 55:41.
- [22] Johnson ME, Mille ML, Martinez KM, et al. Age-related changes in hip abductor and adductor joint torques[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2004, 85(4): 593—597.
- [23] Addison O, Inacio M, Bair WN, et al. Role of Hip Abductor Muscle Composition and Torque in Protective Stepping for Lateral Balance Recovery in Older Adults[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2017, 98(6):1223—1228.
- [24] Rietdyk S, Patla A E, Winter D A, et al. Balance recovery from medio-lateral perturbations of the upper body during standing[J]. *Journal of Biomechanics*, 1999, 32(11): 1149—1158.
- [25] 王少君,徐纳新,万发桃,等. 衰老对侧向姿势干扰下神经肌肉反应的影响[J]. *医用生物力学*, 2011, 26(3): 286—290.
- [26] Rodenreynolds DC, Walker MH, Wasserman CR, et al. Hip proprioceptive feedback influences the control of medio-lateral stability during human walking[J]. *Journal of Neurophysiology*, 2015, 114(4):2220.
- [27] Cofré Lizama LE, Pijnappels M, Reeves NP, et al. Can explicit visual feedback of postural sway efface the effects of sensory manipulations on mediolateral balance performance?[J]. *Journal of Neurophysiology*, 2016, 115(2): jn.00103.2014.
- [28] Caderby T, Yiou E, Peyrot N, et al. Effects of changing body weight distribution on mediolateral stability control during gait initiation[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2017, 11:127.
- [29] Mcilroy WE, Maki BE. The control of lateral stability during rapid stepping reactions evoked by antero-posterior perturbation: does anticipatory control play a role?[J]. *Gait & Posture*, 1999, 9(3):190—198.
- [30] Law NY, Li JX. The temporospatial and kinematic characteristics of typical Tai Chi movements: repulse monkey and wave-hand in cloud[J]. *Research in Sports Medicine*, 2014, 22(2):111—123.
- [31] Li JX, Law NY. Kinetics of the lower limb during two typical Tai Chi movements in the elderly[J]. *Research in Sports Medicine*, 2017(2):1—12.
- [32] Hu YN, Chung YJ, Yu HK, et al. Effect of Tai Chi exercise on fall prevention in older adults: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *International Journal of Gerontology*, 2016, 10(3):131—136.
- [33] Chang S, Zhou J, Hong Y, et al. Effects of 24-week Tai Chi exercise on the knee and ankle proprioception of older women[J]. *Research in Sports Medicine*, 2016, 24(1):84.