

前庭神经通路对老年人跌倒的影响及干预研究进展

方磊¹ 严隽陶² 孙萍萍² 单春雷²¹上海中医药大学 201203; ²上海中医药大学康复医学院 201203

通信作者:单春雷,Email:shanchunlei@163.com

【摘要】 随着国内老龄化人口不断增加,越来越多老年康复问题逐渐显现。跌倒是导致老年人失能甚至死亡的主要原因,如何降低老年人跌倒的概率及损伤程度、提高生活质量是目前研究的重点。前庭神经通路在老年人跌倒发生过程中扮演着重要作用,本文从前庭神经通路对跌倒的影响、国内外最新防跌倒干预手段及存在的问题等方面进行总结分析,以为老年人提供综合性防跌倒康复方案。

【关键词】 跌倒; 前庭神经通路; 感觉输入; 平衡

基金项目:上海市卫计委中医药科研基金资助(2014L080A)

Fund program:Shanghai Municipal Planning Commission of Science and Research Fund(2014L080A)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.04.019

跌倒是指不能控制地或非故意地倒在地上或其他较低的平面上,排除遭到猛烈打击、意识丧失、突然瘫痪或癫痫发作等原因的意外事件,在国际疾病分类标准编码 ICD-10 中属于意外受伤的其他外因 W00-W19 范畴^[1]。跌倒发生率随年龄增加而升高,80 岁以上人群的发生率达到 50%,90 岁以上老年人跌倒后造成的功能损伤和残疾较为严重^[2-3]。35%~40% 的社区老年人(≥65 岁)每年至少跌倒 1 次,其中约 50% 会多次跌倒^[4-6]。跌倒对老年人的伤害不仅存在于身体层面,还包括心理层面。一次不严重的跌倒事件也会对老年人造成心理上的影响。26%~55% 的老年人会忧虑和恐惧跌倒,从而减少活动,长此以往肌肉变得更加虚弱,活动能力进一步降低,加剧跌倒的安全隐患^[7-8]。目前全球每年大约 3700 万人因跌倒损伤需要就医,中国人口老龄化趋势是全球最严峻的国家,老年人口已达到 1.5 亿以上。因此,研究预防老年跌倒损伤迫在眉睫,是康复医学领域内迫切需要深入研究的重要课题之一。对于减轻患者家庭及社会的负担、提高老年人生活质量具有重要意义。近年来,国内外开展了大量与跌倒发生机制和干预相关的研究,结果发现前庭神经通路在维持平衡、预防跌倒损伤方面具有重要意义。

前庭神经通路的神经生理学基础及对跌倒的影响

前庭神经通路在机体维持平衡过程中的作用非常关键,外界感受器将信号经前庭神经传入到相应脑干内的前庭神经核及小脑,经过与其他感觉信息(如视觉信息、其它本体觉信息)的整合、加工等处理后,再由多条神经通路和中枢环路把信息传送到脑内更高层次,进行编码加工处理做出决策,最终由运动输出系统发出神经冲动,控制骨骼肌系统以维持身体平衡和姿势修正^[9]。在前庭神经通路上任何一个环节出现问题都会导致跌倒的发生。详见图 1。

研究发现,老年人视觉、听觉及本位感觉等功能减退,使之不容易看到或听到有关跌倒的警告信号,传入中枢神经的空间定位信息减少^[10-11]。所以室内不良的环境会影响视觉输入,干扰老年人的定向力,导致老年人对外界环境的判断产生失误,

从而发生跌倒。其中 35.7% 的跌倒发生在卫生间,21.3% 在卧室,15.3% 在厨房^[12]。Stiles 等^[13] 研究发现,前庭核的部分感觉运动纤维终止于背外侧纹状体。前庭核和纹状体通过丘脑进行感觉传输,完全避开了大脑皮质感觉区。因此,前庭与其他感觉运动信号主要在背侧纹状体内整合,以控制躯体和四肢的运动。也有研究表明,中枢前庭系统接收来自两个并行信息通道的输入,规则信号定时传送头部旋转的信息,不规则信号仅传入高频特征信息^[14-15]。当生物体与其环境相互作用时就产生多模式信号流入,在大脑编码并对自发运动稳定性和身体相邻部位运动进行估算,以确保日常生活中对行为和姿势的准确控制。当身体失去平衡时,大脑皮质和脑干区通过前庭信息处理来探测前庭异常信号,防卫性运动反应继而出现,在全身不稳定期间作为警报响应,引起一种全身性交感神经活动。在神经生理水平层面,脑灰质减少与姿势的认知控制能力和灵活性减退密切相关,使得身体姿势平衡控制能力降低^[16-17]。老年人神经传导减慢,中枢整合能力减弱,反应时间延长,不能及时有效地发现和规避危险,中枢和周围神经系统的控制能力下降导致平衡功能失调,从而使跌倒的危险性明显增加^[18-19]。详见图 2。

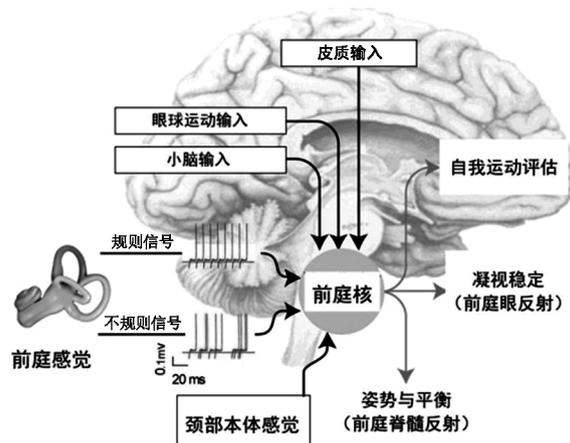


图 1 前庭神经通路上的多模式整合

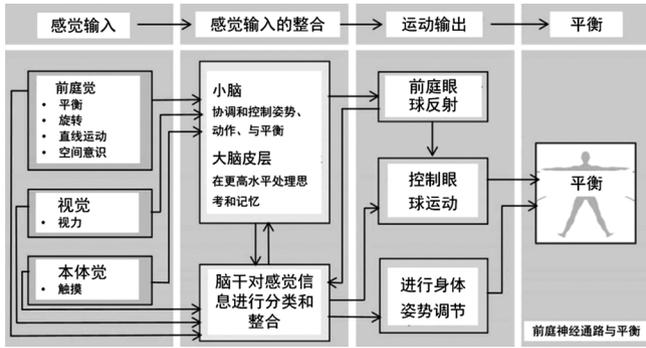


图 2 前庭神经通路的感觉运动控制系统

国内外最新防跌倒干预手段

一、增强感觉输入功能

前庭神经通路具有可塑性,增加以感觉输入功能为主的训练能改善前庭功能^[20]。目前比较热门的方法是运动想象训练,即通过想象执行动作,但没有任何动作发生和肌肉激活,尤其适用于行动不便的老年人^[21]。Taube 等^[22]和 Ferraye 等^[23]都通过功能性磁共振观察运动想象的效果,发现能显著激活腹侧前运动皮质、背侧前运动皮质、初级运动皮质、小脑等与平衡相关的重要脑区。详见图 3。

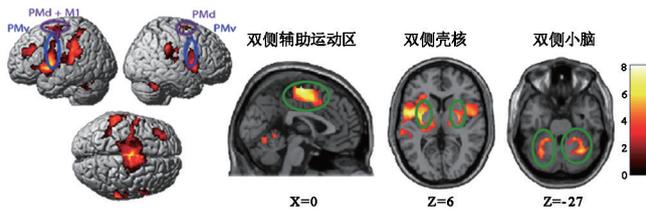


图 3 运动想象训练下的脑功能磁共振变化

Gutmann 等^[24]证实运动训练能增加脑电图 α 波峰频率,其变化与调节固定频带上 α 波的强度密切相关,脑电功率谱密度是反映平衡任务训练结果的指标^[25-26]。Karim 等^[27]研究发现任务性训练能使额前叶、额中回、额上回、岛叶、扣带回、尾状核和胼胝体等区域被激活,T2 加权影像中右图的主动平衡刺激任务训练效果与左图的踝关节任务训练效果比较,差异有统计学意义 ($P < 0.05$),详见图 4。Bucru 等^[28]针对小脑神经退化采用运动感觉训练,证实小脑皮质神经回路对运动学习有重要作用,能辅助前庭系统进行动作的精确定位。

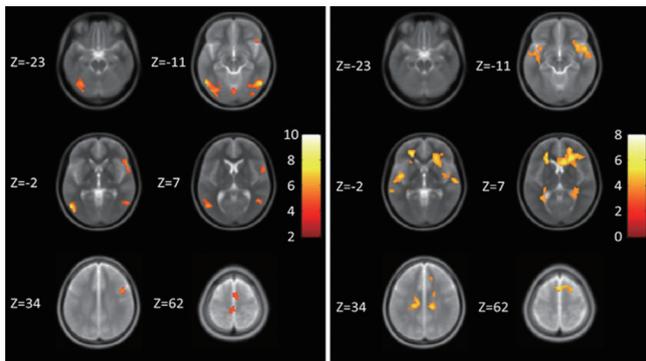


图 4 任务性训练下的脑功能磁共振变化

在增强感觉输入干预研究方面,韦仕菊^[29]用鹅卵石踩踏法引起足底皮肤机械感受器及踝关节本体感受器兴奋,通过反射性神经肌肉反馈机制对运动进行快速调节,来正确判断肢体的空间位置,保持适当的肌肉张力,协调拮抗肌和协同肌的舒缩。还有研究者通过交谊舞的形式来改善老年女性的平衡功能^[30-31]。

随着科技进步,虚拟现实技术在老年防跌倒训练中的满意度较高^[32-34]。在动态压力平台上模拟现实街道环境,进行场景平衡维持的任务训练和技能训练^[35]。有研究在评估老年人动态平衡和运动能力时,发现虚拟现实技术结合综合性平衡与力量训练较单纯虚拟现实技术训练更为优异^[36]。康复工程可穿戴设备采集老年人运动参数进行风险预测^[37],接收到跌倒信号时就会触发警报,向周围人群发送求助信息,同时启动安全气囊保护老年人^[38-39],详见图 5。对于感觉丧失的老年人,触觉振动背心可为其提供额外的感觉提示^[40]。踝关节康复机器人用于防止脑卒中后跌倒,并提供支持和身体指导^[41-42]。除此之外,预防跌倒的康复措施还包括替代性训练、姿势控制和步态训练^[43-45]。



图 5 防跌倒探测系统

二、增强神经肌肉反应活动能力

39.8%的老年跌倒者表现出不同程度的静态平衡能力减退。60~80 岁老年人的静态平衡能力未见显著下降,但其代偿能力减弱,80 岁以上老年人的静态平衡能力显著下降^[46-47]。因为衰老过程中,人体肌肉体积缩小 40%,肌肉力量减低 30%,脂肪比重增加 15%,II 型肌纤维变细且数量减少,导致与姿势控制相关的神经肌肉反应速度急剧下降,平衡控制能力减退,这对于姿势控制是非常不利的。肌肉的爆发力是应对突然性的外界干扰而做出姿势反应的一个重要先决条件^[48-49]。老年人遇到外部扰动的情况下经常使用髌策略或迈步策略,由于肌肉爆发性力量的下降,这种应对外界干扰的姿势调控会产生延迟,进而可能会失去平衡或导致跌倒,使老年人残疾和丧失生活自理能力的风险显著提高^[50]。

针对神经肌肉反应活动能力减退,增强肌力运动训练、提高指令输出效率是首选原则。膝关节和下肢肌力与人体直立姿势稳定性有着密切关系,长期有规律地进行有氧运动、抗阻训练、力量训练和平衡稳定训练能帮助老年人增加下肢肌肉力量,延缓平衡能力的下降,是临床防跌倒指南主要推荐项目之一^[51-52]。传统运动疗法对提高平衡能力、预防跌倒有较好效果。赵媛等^[53]收集太极拳文献对 2796 例患者进行 Meta 分析,

发现太极拳组在降低老年人跌倒的发生率、减少起立行走时间、增加功能性伸展距离和提高 Berg 平衡量表得分方面较为优异。有研究对采用易筋经锻炼后的老年人进行平衡功能评估,发现闭眼单腿站立、强化 Romberg 检查及起立-行走测试指标较前均有明显改善,提示易筋经可以显著提高老年人的平衡指数^[54]。所以利用传统运动疗法提高运动输出系统的神经肌肉反应活动能力是阻止老年人跌倒的可行性方案。

问题与展望

综上所述,目前的干预研究大多采用提高动静平衡能力来预防跌倒,而在现实生活环境中,跌倒多发生在一瞬间,老年人反应时间有限,所以在跌倒发生时,如何安全有效地保护老年人、提高中枢神经系统对外周反馈的响应和肌肉运动控制能力、减少跌倒带来的二次损伤,是今后研究的一个重要方向。近年来,防跌倒理论“安全着地策略”被提出,目的是通过训练提高大脑对跌倒发生时的预期性肌肉控制,及时临场修正姿势、减少着地损伤^[55]。研究老年人跌倒损伤的自我保护模式和作用机制,对改善老年人生活质量、减轻社会负担具有重要的价值和广泛的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Sun R, Sosnoff JJ. Novel sensing technology in fall risk assessment in older adults: a systematic review[J]. BMC Geriatr, 2018, 18(1): 14. DOI: 10.1186/s12877-018-0706-6.
- [2] Zecevic AA, Salmoni AW, Speechley M, et al. Defining a fall and reasons for falling: comparisons among the views of seniors, health care providers, and the research literature[J]. Gerontologist, 2006, 46(3): 367-376.
- [3] Rantz M, Skubic M, Abbott C, et al. Automated in-home fall risk assessment and detection sensor system for elders[J]. Gerontologist, 2015, 55(1): 78-87.
- [4] 诸葛毅, 俎德玲, 王小同, 等. 老年人跌倒风险评估量表的信度效度分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2014, 36(7): 573-574. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.07.024.
- [5] 刘翠鲜, 沈志祥. 老年跌倒的特点与预防策略[J]. 中国老年医学杂志, 2013, 33(2): 459-461. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2013.02.112.
- [6] 陈峥, 崔德华, 张洪林, 等. 老年跌倒综合征[J]. 中国老年医学杂志, 2010, 30(19): 2863-2867. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2010.19.071.
- [7] 周明, 彭楠, 石荣光, 等. 活动能力测试对社区老年人跌倒风险的预测价值[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(6): 456-459. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.06.006.
- [8] Dhargave P, Sendhilkumar R. Prevalence of risk factors for falls among elderly people living in long-term care homes[J]. J Clin Gerontol Geriatr, 2016, 7(3): 99-103.
- [9] Straka H, Zwergal A, Cullen KE. Vestibular animal models: contributions to understanding physiology and disease[J]. J Neurol, 2016, 263(1): 10-23. DOI: 10.1007/s00415-015-7909-y.
- [10] Swenor BK, Yonge AV, Goldhammer V, et al. Evaluation of the home environment assessment for the visually impaired (HEAVI): an instrument designed to quantify fall-related hazards in the visually impaired[J]. BMC Geriatr, 2016, 16(1): 214.
- [11] Herman T, Inbar-Borovsky N, Brozgot M, et al. The dynamic gait index in healthy older adults: The role of stair climbing, fear of falling and gender[J]. Gait posture, 2009, 29(2): 237-241. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2008.08.013.
- [12] Rosen T, Mack KA, Noonan RK. Slipping and tripping: fall injuries in adults associated with rugs and carpets[J]. J Inj Violence Res, 2013, 5(1): 61-69. DOI: 10.5249/jivr.v5i1.177.
- [13] Stiles L, Smith PF. The vestibular-basal ganglia connection: balancing motor control[J]. Brain Res, 2015, 9(2): 180-188. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.11.063.
- [14] Atomi T, Noriuchi M, Oba K, et al. Self-Recognition of one's own fall recruits the genuine bodily crisis-related brain activity[J]. PLoS One, 2014, 9(12): 115303. DOI: 10.1371/journal.pone.0115303.
- [15] Cullen KE. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control[J]. Trends Neurosci, 2012, 35(3): 185-196. DOI: 10.1016/j.tins.2011.12.001.
- [16] Malcolm BR, Foxe JJ, Butler JS, et al. The aging brain shows less flexible reallocation of cognitive resources during dual-task walking: a mobile brain/body imaging (MoBI) study[J]. Neuroimage, 2015, 117(5): 230-242. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.05.028.
- [17] Makizako H, Shimada H, Doi T, et al. Poor balance and lower gray matter volume predict falls in older adults with mild cognitive impairment[J]. BMC Neurol, 2013, 13(8): 102. DOI: 10.1186/1471-2377-13-102.
- [18] Agrawal Y, Carey JP, Della Santina CC, et al. Disorders of balance and vestibular function in US adults[J]. Arch Intern Med, 2009, 169(10): 938-944. DOI: 10.1001/archinternmed.2009.66.
- [19] Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, et al. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2010, 34(5): 721-733. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2009.10.005.
- [20] 刘崇, 阎芬, 曹冰, 等. 运动延缓老年人平衡能力下降的研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2009, 24(7): 670-672. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2009.07.034.
- [21] Mizuguchi N, Nakata H, Kanosue K. Motor imagery beyond the motor repertoire: Activity in the primary visual cortex during kinesthetic motor imagery of difficult whole body movements[J]. Neuroscience, 2015, 315(2): 104-113. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2015.12.013.
- [22] Taube W, Mouthon M, Leukel C, et al. Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: an fMRI study[J]. Cortex, 2015, 64(3): 102-114. DOI: 10.1016/j.cortex.2014.09.022.
- [23] Ferraye MU, Debû B, Heil L, et al. Using motor imagery to study the neural substrates of dynamic balance[J]. PLoS One, 2014, 9(3): 91183. DOI: 10.1371/journal.pone.0091183.
- [24] Gutmann B, Hülsdünker T, Mierau J, et al. Exercise-induced changes in EEG alpha power depend on frequency band definition mode[J]. Neurosci Lett, 2018, 662(1): 271-275. DOI: 10.1016/j.neulet.2017.10.033.
- [25] Petrofsky JS, Khowailed IA. Postural sway and motor control in trans-tibial amputees as assessed by electroencephalography during eight balance training tasks[J]. Med Sci Monit, 2014, 20(12): 2695-2704. DOI: 10.12659/MSM.891361.
- [26] Mouthon A, Ruffieux J, Wälchli M, et al. Task-dependent changes of corticospinal excitability during observation and motor imagery of balance tasks[J]. Neuroscience, 2015, 303(7): 535-543. DOI: 10.

- 1016/j.neuroscience.2015.07.031.
- [27] Karim HT, Sparto PJ, Aizenstein HJ, et al. Functional MR imaging of a simulated balance task [J]. *Brain Res*, 2014, 1555 (1): 20-27. DOI: 10.1016/j.brainres.2014.01.033.
- [28] Burciu RG, Fritsche N, Granert O, et al. Brain changes associated with postural training in patients with cerebellar degeneration: a voxel-based morphometry study [J]. *J Neurosci*, 2013, 33 (10): 4594-4604. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3381-12.2013.
- [29] 韦仕菊. 鹅卵石踩踏法在脑卒中患者平衡功能训练中的应用 [J]. *右江民族医学院学报*, 2009, 31 (5): 806-807. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5817.2009.05.032.
- [30] 黎健民. 交谊舞锻炼对老年女性平衡机能的影响 [J]. *体育科技*, 2006, 27 (1): 79-81. DOI: 10.3969/j.issn.1003-1359.2006.01.023.
- [31] 孙云霞. 秧歌舞锻炼对中老年女性平衡能力与骨密度的影响 [J]. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 30 (1): 119-120. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1735.2007.01.035.
- [32] Dockx K, Alcock L, Bekkers E, Fall-Prone older people's attitudes towards the use of virtual reality technology for fall prevention [J]. *Gerontology*, 2017, 63 (6): 590-598. DOI: 10.1159/000479085.
- [33] de Vries AW, Faber G, Jonkers I, et al. Virtual reality balance training for elderly: similar skiing games elicit different challenges in balance training [J]. *Gait Posture*, 2018, 59 (1): 111-116. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.10.006.
- [34] Fung J. Gait and balance training using virtual reality is more effective for improving gait and balance ability after stroke than conventional training without virtual reality [J]. *J Physiother*, 2017, 63 (2): 114. DOI: 10.1016/j.jphys.2017.02.010.
- [35] Elion O, Sela I, Bahat Y, et al. Balance maintenance as an acquired motor skill: delayed gains and robust retention after a single session of training in a virtual environment [J]. *Brain Res*, 2015, 1609 (1): 54-62. DOI: 10.1016/j.brainres.2015.03.020.
- [36] 孙志成, 王彤, 王青, 等. 虚拟现实训练对养老院老年人跌倒相关危险因素的影响 [J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33 (6): 687-692. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.06.013.
- [37] Hahn ME, Chou LS. A model for detecting balance impairment and estimating falls risk in the elderly [J]. *Ann Biomed Eng*, 2005, 33 (6): 811-820.
- [38] Pannurat N, Thiemjarus S, Nantajeewarawat E. Automatic fall monitoring: a review [J]. *Sensors (Basel)*, 2014, 14 (7): 12900-12936. DOI: 10.3390/s140712900.
- [39] Stone EE, Skubic M. Fall detection in homes of older adults using the microsoft kinect [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2015, 19 (1): 290-301. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2312180.
- [40] Lee HJ, Chou LS. Balance control during stair negotiation in older adults [J]. *J Biomech*, 2007, 40 (11): 2530-2536.
- [41] Forrester LW, Roy A, Hafer-Macko C, et al. Task-specific ankle robotics gait training after stroke: a randomized pilot study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2016, 13 (1): 51. DOI: 10.1186/s12984-016-0158-1.
- [42] Jamwal PK, Hussain S, Xie SQ. Review on design and control aspects of ankle rehabilitation robots [J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2015, 10 (2): 93-101. DOI: 10.3109/17483107.2013.866986.
- [43] Pfortmueller CA, Lindner G, Exadaktylos AK. Reducing fall risk in the elderly: risk factors and fall prevention, a systematic review [J]. *Minerva Med*, 2014, 105 (4): 275-281.
- [44] France D, Slayton J, Moore S, et al. A Multicomponent fall prevention strategy reduces falls at an academic medical center [J]. *Jt Comm J Qual Patient Saf*, 2017, 43 (9): 460-470. DOI: 10.1016/j.jcjq.2017.04.006.
- [45] Taylor-Piliae RE, Peterson R, Mohler MJ. Clinical and community strategies to prevent falls and fall-related injuries among community-dwelling older adults [J]. *Nurs Clin North Am*, 2017, 52 (3): 489-497. DOI: 10.1016/j.cnur.2017.04.004.
- [46] Muscaritoli M, Anker SD, Argies J, et al. Consensus definition of sarcopenia, cachexia and pre-cachexia: joint document elaborated by special interest groups (SIG) cachexia-anorexia in chronic wasting diseases and nutrition in geriatrics [J]. *Clin Nutr*, 2010, 29 (2): 154-159. DOI: 10.1016/j.clnu.2009.12.004.
- [47] 张丽, 瓮长水, 彭楠. 老年静态平衡功能定量测定及年龄相关性分析 [J]. *中国康复理论与实践*, 2011, 17 (32): 258-262. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2011.03.019.
- [48] 刘玉超, 方磊, 严隽陶, 等. 易筋经对老年骨骼肌减少症患者生活质量影响 [J]. *上海中医药大学学报*, 2011, 26 (5): 58-60.
- [49] Sayer AA, Dennison EM, Syddall HE, et al. The developmental origins of sarcopenia: using peripheral quantitative computed tomography to assess muscle size in older people [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2008, 63 (8): 835-840.
- [50] 李宗涛, 葛新发, 罗冬梅, 等. 神经肌肉反应活动能力衰退导致老年女性跌倒的因素研究 [J]. *中国运动医学杂志*, 2015, 34 (6): 559-563.
- [51] Kim KI, Jung HK, Kim CO, et al. Evidence-based guidelines for fall prevention in Korea [J]. *Korean J Intern Med*, 2017, 32 (1): 199-210. DOI: 10.3904/kjim.2016.218.
- [52] Jones DL, Starcher RW, Eicher JL, et al. Adoption of a Tai Chi intervention, Tai Ji Quan: moving for better balance, for fall prevention by rural faith-based organizations, 2013-2014 [J]. *Prev Chronic Dis*, 2016, 13 (7): 92. DOI: 10.5888/pcd13.160083.
- [53] 赵媛, 王燕, 徐旭东. 太极拳运动对老年人平衡功能和跌倒预防效果的 meta 分析 [J]. *中国循证医学杂志*, 2013, 13 (3): 339-345. DOI: 10.7507/1672-2531.20130058.
- [54] 刘晓丹, 金宏柱, 顾一焯. 健身气功易筋经对老年女性身体素质的影响 [J]. *当代医学*, 2010, 16 (6): 3-4. DOI: 10.3969/j.issn.1009-4393.2010.06.002.
- [55] Moon Y, Sosnoff JJ. Safe landing strategies during a fall: systematic review and meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2017, 98 (4): 783-794. DOI: 10.1016/j.apmr.2016.08.460.

(修回日期: 2018-10-29)

(本文编辑: 凌 琛)