

## · 综述 ·

# 平衡功能评测在早期筛查轻度认知障碍中的应用进展

顾剑鹏 柏亚妹 宋玉磊 殷海燕 张薛晴 戚馨如 徐桂华 杜丹丹

210023 南京中医药大学护理学院(顾剑鹏、柏亚妹、宋玉磊、殷海燕、张薛晴、戚馨如、徐桂华);

211102 南京同仁医院神经内科(杜丹丹)

通信作者: 杜丹丹, Email: 354935839@qq.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2026.01.008

**【摘要】** 早期筛查轻度认知障碍(MCI)对预防或延缓痴呆发展进程具有重要意义。大量研究表明,平衡功能评测在MCI患者识别和预警中具有重要作用,但目前MCI筛查仍然以神经心理学量表为主,未能完全体现平衡功能相关指标在MCI筛查中的研究和应用价值。现通过对既往文献的回顾和分析,综述MCI患者平衡功能概念、MCI患者平衡异常的神经学基础、常用平衡评测方法以及平衡功能与认知功能的相关性,旨在为未来开发基于平衡功能的MCI早期筛查工具提供理论依据。

**【关键词】** 轻度认知障碍; 平衡功能评测; 早期筛查; 综述

**基金项目:** 国家重点研发项目(2023YFC3603602); 国家自然科学基金(72174095); 江苏省社会发展面上项目(BE2022802); 2025年江苏省研究生科研创新计划(KYCX25\_2388)

## Application progress of balance function evaluation in early screening for mild cognitive impairment

Gu Jianpeng, Bai Yamei, Song Yulei, Yin Haiyan, Zhang Xueqing, Qi Xinru, Xu Guihua, Du Dandan

School of Nursing, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China (Gu JP, Bai YM, Song YL, Yin HY, Zhang XQ, Qi XR, Xu GH); Department of Neurology, Nanjing Tongren Hospital, Nanjing 211102, China (Du DD)

Corresponding author: Du Dandan, Email: 354935839@qq.com

**【Abstract】** Early screening for mild cognitive impairment (MCI) is important in preventing the onset of dementia or slowing its progression. Numerous studies have shown that balance function evaluation has an important role in the identification and early warning of patients with MCI. Currently, MCI screening in China is still dominated by neuropsychological scales, which fails to reflect the research and application value of balance function-related indicators in MCI screening. By reviewing and analyzing the previous literature, this paper starts from the dimensions of balance function in MCI patients to clarify the concept of balance function, the neurological basis of balance abnormalities in MCI patients, the commonly used balance assessment methods, and the correlation between balance function and cognitive function, with the aim of providing a theoretical basis for the future development of a balance function-based early screening tool for MCI.

**【Key words】** Mild cognitive impairment; Balance function evaluation; Early screening; Review

**Fund programs:** National Key Research and Development Program of China (2023YFC3603602); National Natural Science Foundation of China (72174095); General Project of Social Development of Jiangsu Province (BE2022802); 2025 Graduate Research Innovation Planning Project of Jiangsu Province (KYCX25\_2388)

轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)是一种介于正常认知衰退和痴呆之间的临床阶段,主要临床表现为记忆减退和执行功能下降等认知损伤特征,但尚未影响日常活动能力<sup>[1]</sup>。神经心理学评估仍然是目前筛查MCI的主要依据,常用的MoCA和MMSE等虽然具有重要的诊断价值,但在

实际应用中仍存在专业性要求高和主观性强等局限性。因此,亟须探索一种客观、操作简便、成本效益更优的早期识别方法,以期提升MCI早期筛查准确率和可及性。一项Meta分析结果显示,在睁眼状态下,前后和左右摇摆路径长度( $d=0.49, P < 0.01$ ;  $d=-0.34, P=0.04$ )是有效识别MCI人群的重要指标<sup>[2]</sup>。

Suzuki 等<sup>[3]</sup> 开发一种基于平衡功能的 MCI 筛查工具, 其敏感度为 81.3%, 特异度为 57.6%, 曲线下面积(area under the curve, AUC) 为 0.806。研究表明, MCI 患者与认知健康老年人在平衡功能方面存在显著差异, 且 MCI 患者平衡障碍与视空间功能、执行功能等减退密切相关<sup>[4-5]</sup>, 因此越来越多的国内外学者开始研究从平衡功能维度区分 MCI 患者。本文通过综述平衡功能概念、MCI 患者平衡异常的神经学基础、常用平衡评测方法以及平衡功能与认知功能的相关性, 旨在为开发基于平衡功能的 MCI 早期筛查工具提供理论依据。

### 一、平衡功能相关概念

平衡功能又被称为姿势稳定性, 是指身体处于某一姿态或者运动状态时, 自主维持姿势的能力。具体可分为静态平衡和动态平衡 2 类。静态平衡指的是身体或某部位在保持特定姿势(例如坐或站)时, 维持稳定状态的能力。动态平衡又可分为自动态平衡和他动态平衡, 自动态平衡是进行自主运动时, 如站立到坐姿的改变、肢体调整、身体重心控制以及姿势稳定的能力; 他动态平衡则是指人体受到外部干扰(如推、拉等外力作用)时, 能够通过快速调整姿势来恢复并维持稳定状态的能力<sup>[6]</sup>。维持身体平衡的神经生理机制虽然较为复杂, 但其核心过程可分为 3 个关键环节: 感觉刺激输入、神经中枢整合和运动平衡调控。具体而言, 身体平衡维持是由脑干网状结构、小脑及大脑皮质等平衡觉神经中枢将前庭觉、视觉和本体觉等感觉刺激输入信息<sup>[7]</sup>整合处理后传递给运动控制系统以维持或恢复身体姿势平衡<sup>[8]</sup>。

### 二、MCI 患者平衡异常的神经学基础

现有研究表明, MCI 患者的平衡控制能力衰退可能与多个脑区的病理改变有关。前庭系统是身体平衡控制主要系统之一, 早期认知障碍患者普遍存在前庭功能障碍。巴尔的摩老龄化纵向研究(Baltimore longitudinal study of aging, BLSA) 揭示了老年人前庭功能核萎缩会影响前庭调控能力<sup>[9]</sup>。研究发现, 前庭功能缺失会影响负责记忆与视空间功能的海马体功能<sup>[10]</sup>。BLSA 进一步分析发现, 较差的前庭功能与海马体体积萎缩相关。合理推断, 海马萎缩可能是平衡功能障碍与认知功能下降联系的基础<sup>[9]</sup>。痴呆相关的神经病理改变(如 tau 蛋白和  $\beta$ -淀粉样蛋白沉积)不仅累及海马体, 在疾病早期和进行性阶段还会在小脑、内嗅皮质、基底前脑和顶叶皮质等关键脑域形成病理性积累, 以上脑域的

神经退行性病变不仅通过损伤前庭和海马的信号传递, 还可能通过干扰前庭、小脑和海马通路的整合能力, 进一步加重平衡障碍<sup>[11]</sup>。值得注意的是, 前额叶皮层作为认知控制网络的核心脑域, 同样在 MCI 患者平衡调节中发挥重要作用。临床影像学研究显示, 该区域脑室周围白质病变(常见于亚临床脑血管病)与平衡功能下降存在显著相关性<sup>[12]</sup>。从神经机制分析, 前额叶皮层同时参与执行功能和姿势控制, 这种功能上的重叠可能解释了 MCI 患者往往同时出现认知和运动症状。综合现有证据, 大脑结构萎缩和神经退行性病变可能通过引发一场神经网络重组、损伤感觉运动信息整合能力并降低关键脑区的神经活动效率, 共同导致 MCI 患者姿势控制能力的进行性下降<sup>[13-14]</sup>。

### 三、MCI 患者平衡功能评测方法

1. 静态平衡功能评测方法: (1) 单腿站立测试(one-leg stand test, OLST)。其是一种用于评测静态平衡的测试方法。测试要求参与者在无任何视觉辅助的情况下, 双手置于腰间, 保持单腿站立姿势, 记录参与者保持单腿站立姿势的时间, 时间越长表示其平衡功能越佳。在认知障碍患者平衡功能评估领域, Wang 等<sup>[15]</sup> 的研究发现, 与认知功能正常的老年人相比, MCI 和 AD 患者的闭眼 OLST 持续时间显著缩短( $P=0.001$ )。此外, 还有研究指出, 老年人 OLST 持续时间主观认知下降阶段起便开始显著减少<sup>[16]</sup>。OLST 具有操作简单、耗时短、成本低廉的特点, 适用于大规模的筛查工作, 但测试方法在标准化解释方面存在不足, 加之单腿站立可能带来的跌倒风险, 这些因素都可能对评估结果产生影响。(2) 稳定性测量法。其借助高精度稳定仪测量身体稳定状态下足底压力中心(center of pressure, COP)移动情况。稳定性测量法分析的 COP 时频域指标被公认为评价平衡能力的金标准<sup>[17]</sup>。COP 的路径长度、摇摆速度和 95% 椭圆置信面积是考察 MCI 患者常用的指标。基于三维电磁系统和稳定仪的研究显示, 在闭眼状态下, MCI 组和认知正常组在前后、内外侧路径长度, 总轨迹长度以及摇摆速度方面差异有统计学意义( $P$  均  $< 0.001$ )<sup>[18]</sup>。这些发现指出, MCI 患者在维持身体平衡时对视觉的依赖性更强。Leandri 等<sup>[19]</sup> 研究显示, 在闭眼状态下, MoCA 评分正常组与 MoCA 评分低组的前后路径长度差异有统计学意义( $P < 0.001$ ), 且 MCI 患者的前后路径长度表现出更大的变异性, 表明前后路径长度是能够有效区分 MCI 患者和认知功能正常老年人平衡功

能差异的重要指标。齐刘心等<sup>[20]</sup>的研究发现,在软性和硬性支撑面方面,MCI患者的足部COP的总轨迹长度(软支撑面:  $P=0.003$ )、内外侧路径长度(软支撑面:  $P=0.001$ , 硬支撑面:  $P < 0.001$ )和95%椭圆置信面积(软支撑面:  $P=0.001$ , 硬支撑面:  $P < 0.001$ )显著高于认知功能正常老年人。稳定性测量法评测平衡功能的精确度高于OLST,更适用于轻微平衡障碍患者的测评。此外,Suzuki等<sup>[3]</sup>研究表明,任天堂平衡板与医用稳定仪在评测MCI患者COP平衡参数中均表现出良好的性能。这项研究也为未来开发基于COP时频域分析的便携式MCI筛查工具提供了启发。

2. 动态平衡功能评测方法:(1)“站起-行走”计时测试(time-up go test, TUGT)。其是一种评估个体从坐姿到站立,再步行至特定点并返回的动态平衡功能的测试。作为目前临床实践中被广泛采用的快速评估工具,其可靠性高,组内相关系数为0.99。Bosmans等<sup>[21]</sup>的研究显示,认知功能正常老年人和MCI患者TUGT存在显著差异,其中MCI患者的完成时间显著较长( $P=0.001$ ,  $d=0.8$ )。此外,一项为期4.5年的纵向研究发现MCI患者平均TUGT完成时间为 $(9.8 \pm 2.7)$ s,显著高于认知正常组的 $(8.0 \pm 2.6)$ s( $P < 0.001$ );当TUGT完成时间的临界值设定为11s时,该测试在区分MCI患者的AUC达到0.729,显示出较高的诊断价值<sup>[22]</sup>。刘延丽等<sup>[23]</sup>应用改良长谷川痴呆量表(Revised Hasegawa Dementia Scale Score, HDS-R)对老年人进行认知功能评估,并将其分为认知正常和认知障碍组,研究结果发现,两组在TUGT的完成时间、步态稳定性方面差异有统计学意义( $P$ 均 $< 0.001$ ),这表明认知障碍患者不仅完成TUGT的时间更长,而且步态稳定性更差。Wang等<sup>[15]</sup>的研究进一步发现,在双任务下,相较于认知功能正常老年人,MCI、轻度AD和AD患者的TUGT中的完成时间显著延长( $P < 0.001$ )。以上研究表明在相同认知负荷状态下,认知障碍患者动态平衡能力下降程度更为显著。(2)计算机平衡仪评测法。需要受试者通过实时调控身体重心完成标准化动作,评估多维度(前后、左右和旋转等)姿势调控能力。该方法采用高精度压力和惯性传感器阵列,并结合计算机视觉动作捕捉系统和机器学习算法实现运动单元特征量化。动态平衡核心指标包括感觉组织测试(sensory organization test, SOT)下的综合平衡分、运动学参数(反应时间和运动速度)、控制精度参数(终点漂移、最大漂移和方向控制)和稳定指数,

均反映受试者在极限条件下的平衡反应和控制能力。Cui等<sup>[24]</sup>研究发现,在SOT综合评分、视觉评分以及稳定性极限测试(limits of stability test, LOS)的反应时间、运动速度、终点漂移、最大漂移、方向控制方面,认知障碍组的表现均显著低于对照组( $P$ 均 $< 0.05$ )。Baydan等<sup>[25]</sup>研究指出,在SOT综合评分、前庭感觉评分方面,MCI组和对照组差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),表示前庭系统的功能可能在MCI阶段存在受损;而在本体感觉评分、视觉评分和视觉优势评分方面差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。Kostic等<sup>[26]</sup>研究指出,认知正常老年人的整体稳定指数(postural stability index, PSI)得分显著低于MCI患者 $[(0.60 \pm 0.1)$ 分 vs.  $(1.1 \pm 0.1)$ 分,  $P=0.003$ ],表明认知功能正常的老年人在姿势稳定性方面明显优于MCI患者。该研究还发现,在执行功能较低的老年人群体中,内外侧稳定性指数(medialateral stability index, MLSI)得分显著高于MCI患者,表明执行功能较低的老年人在内外侧稳定性方面可能优于MCI患者。Ide等<sup>[27]</sup>研究发现,在闭眼和硬性表面条件下,AD患者的姿势稳定性指数(Index of Postural Stability, IPS)评分显著低于MCI患者( $P=0.016$ ),表明AD患者的前庭和(或)本体感觉系统损伤较MCI患者更严重。

#### 四、平衡功能与认知功能的相关性研究

1. 平衡功能与视空间功能:平衡功能与视空间功能存在强相关性。平衡作为空间活动的一种特有稳定状态,需要人体视空间功能参与维持。从病理学角度看,认知障碍患者常因枕叶萎缩和局部神经退行性改变而遭受视空间功能障碍,这种障碍进而会影响姿势控制能力。Taylor等<sup>[28]</sup>研究发现,艾登布鲁克认知测试Ⅲ视空间部分评分和姿势摇摆与倾斜平衡测试综合评分的相关性最强( $\beta=-0.258$ ,  $P < 0.001$ , 调整后 $R^2=0.391$ ),这一结果表明,老年人视空间功能越弱,其平衡障碍就越明显。王志伟等<sup>[4]</sup>研究发现,MCI患者线方向判断测验(Judgment of Line Orientation Test, JLO)评分与Berg平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)动态部分评分和总分呈正相关( $r=0.284$ ,  $P=0.004$ ;  $r=0.256$ ,  $P=0.006$ ),表明MCI患者视空间感知能力越差,动态平衡功能和综合平衡功能越差。在同一研究中未发现JLO评分与BBS静态部分评分之间存在相关性( $r=0.163$ ,  $P=0.369$ )。这一发现表明,在MCI患者中,视空间感知功能的下降并未对其静态平衡功能产生显著影响。史建平等<sup>[5]</sup>研究发现,AD患者MoCA的视空间/执行评分和BBS动态、静态部分评分和总分均呈正相关( $r=0.357$ ,

$P=0.001$ ;  $r=0.314$ ,  $P=0.005$ ;  $r=0.355$ ,  $P=0.001$ ), 提示 AD 患者视空间/执行功能越差, 平衡功能越差。

2. 平衡功能与执行功能: 执行功能在步态、姿势控制和平衡协调等高级认知控制中起到重要作用。既往研究证明执行功能弱的认知障碍患者存在更明显的平衡障碍。Ödemişlioğlu-Aydın 和 Aksøy<sup>[29]</sup>研究发现, 简易平衡评定系统测试评分与数字符号转换测验(Digit Symbol Substitution Test, DSST)评分呈正相关( $r=0.325$ ,  $P=0.003$ ), 与连线测验 A(Trail Making Test-Part A, TMT-A)、连线测验 B(Trail Making Test-Part B, TMT-B) 评分分别呈负相关( $r=-0.317$ ,  $P=0.003$ ;  $r=-0.254$ ,  $P=0.022$ ), 表明老年人执行功能越差, 综合平衡功能越差。此外, TUGT 完成时间与 DSST 呈负相关( $r=-0.250$ ,  $P=0.022$ ), 而与 TMT-A、TMT-B 呈正相关( $r=0.235$ ,  $P=0.031$ ;  $r=0.239$ ,  $P=0.028$ )。以上结果进一步证实了执行功能与动态平衡能力之间的密切联系。一项 Meta 分析结果显示, 执行功能与平衡功能之间的相关性的效应量为 0.425(95%CI: 0.286 ~ 0.546,  $P < 0.001$ )<sup>[18]</sup>。Taylor 等<sup>[28]</sup>研究结果显示, 用于评估执行功能的额叶功能评定量表评分与老年人姿势晃动面积呈负相关( $\beta=-0.254$ ,  $P < 0.001$ , 调整后  $R^2=0.387$ )。综上所述, 随着老年人执行功能的下降, 其姿势控制的稳定性减弱, 导致姿势晃动面积增大, 从而反映出平衡能力的降低。

3. 平衡功能与整体认知功能: 大量研究证实, MCI 患者平衡能力与其整体认知功能存在显著相关性。Naito 等<sup>[30]</sup>发现, 在睁眼条件下, 老年人进行 OLST 时, 头部摇摆面积与 MMSE 评分呈现显著负相关( $r=-0.462$ ,  $P=0.001$ ), 表明头部的稳定性在评估认知功能方面可能比足部的稳定性更为敏感、更有价值。Yoon 等<sup>[16]</sup>的研究表明, 在不同腿抬高的 OLST 中, 测试时长与 MMSE 评分均显示出显著的线性相关性(左腿站立: 调整后  $R^2=0.179$ ,  $P < 0.001$ ; 右腿站立: 调整后  $R^2=0.177$ ,  $P < 0.001$ )。李淑娟等<sup>[31]</sup>研究也发现, 老年人的 TUGT 完成时间与 HDS-R 评分呈负相关( $r=-0.243$ ,  $P < 0.001$ ), 认知功能较差的老年人需要更长的时间完成 TUGT 测试, 这反映出其动态平衡功能可能更为低下, 进一步证实了整体认知功能与动态平衡能力之间的密切联系。Cui 等<sup>[24]</sup>研究表明, LOS 中的反应时间和最大漂移是影响 MoCA 得分的独立因素, 具体而言, 反应时间与 MoCA 呈负相关( $OR=0.268$ , 95%CI: 0.083 ~ 0.868,  $P=0.028$ ), 最大漂移与 MoCA 呈正相关( $OR=1.113$ , 95%CI: 1.061 ~ 1.168,  $P < 0.001$ ), 表明在 MCI 患者中, 认知功能越

差, 其稳定性测试的反应时间越长, 而身体的最大漂移距离则越小。基于 IPS 和泡沫姿势图的姿势稳定性视觉依赖指数<sup>[3]</sup>评分与 MoCA 评分呈显著负相关( $r=-0.511$ ,  $P < 0.001$ ), 结果表明 MCI 患者整体认知功能越差, 身体摇摆幅度越广。因此, MCI 患者整体认知功能越弱, 平衡测试中表现出的身体摇摆幅度越显著。

## 五、平衡功能在 MCI 早期筛查的优势与不足

1. 优势: (1) 准确性。基于平衡功能的 MCI 筛查方法通过时间、姿势参数等客观指标区分 MCI 患者, 如双任务下 TUGT 时间切点为 9.83 s 时,  $AUC$  为 0.847; PSI 在识别 MCI 患者方面的  $AUC$  为 0.784。该方法减少了主观判断的偏差, 使得筛查过程更加标准化和可靠; 结合平衡指标和神经心理学量表可以显著提高 MCI 早期筛查的准确度。Costa 等<sup>[32]</sup>研究发现, 姿势平衡参数结合 MoCA 筛查 AD 患者的准确率从 71.7% ~ 86.1% 提升至 91.0% ~ 96.6%, 表明通过多维度评估可以更有效地识别认知障碍。近年来, 平衡功能评测方法取得重要进展。Jamshed 等<sup>[33]</sup>采用可穿戴惯性传感器采集身体运动数据, 并利用机器学习算法分析 15 个关键姿势特征, 构建的 MCI 评估模型显示出良好的鉴别能力( $AUC=0.758$ ), 其敏感度和特异度分别达到 68.3% 和 83.3%, 显著优于传统 MMSE 量表( $AUC=0.669$ )。基于平衡功能的评估方法显示独特优势: 首先, 其标准化测试流程减少语言交流, 使得不同文化程度老年人都能顺利完成筛查<sup>[3]</sup>; 其次, 通过设计采用双任务范式(运动-认知双重任务步行试验)的平衡功能测试, 可显著提升 MCI 的早期识别效能, 与常规认知评估形成有效互补<sup>[34]</sup>。(2) 便捷性。在实际应用方面, OLST 和 TUGT 等方法操作便捷, 普通医护人员经过短期培训即可掌握, 适用于社区和医疗机构的大规模筛查。此外, 平衡功能测试的商业化设备如任天堂 Wii 平衡板<sup>[3]</sup>已被证实具有医疗级设备的测量精度, 全球累计销售 37 万台, 为 MCI 早期预警提供便携工具。该类测试还具有良好的可重复性, 便于对老年人群进行定期随访, 动态监测老年人因认知功能造成的细微运动学变化, 为临床早期干预提供客观依据<sup>[34]</sup>。此外, 随着可穿戴设备和智能传感技术的快速发展<sup>[3, 35]</sup>, 平衡功能测试的便捷性和普及性得到进一步提升, 为大规模社区筛查创造有利条件。

2. 不足: 一方面, 用于衡量动态平衡和静态平衡的测试的可变性以及姿势平衡控制的多因素性质。影响平衡的因素, 如肌肉力量或身体活动不足

均会影响认知与平衡之间的关系。另一方面,其安全性不足,认知障碍患者自身平衡功能薄弱,发生跌倒的风险更高,后期方案设计应考虑为 MCI 患者提供相应的保护措施,如加装围栏或者佩戴防护腰带。第三,平衡功能评测大多考察患者站姿平衡,对下肢稳定性存在一定要求,因而平衡功能评测方法不适用于下肢受伤、静脉曲张的 MCI 患者。此外,平衡功能测试可以辅助认知功能量表,但是由于研究尚处于起步阶段,仍未能完全替代认知功能量表筛查,可作为认知功能量表筛查前的初筛工具,重点识别高危人群,提高筛查效率。

## 六、总结与展望

综上所述,平衡功能是一种需要前庭、视觉、本体感觉系统、CNS 和运动系统共同参与维持的身体功能,海马体和前额叶皮层等脑组织损伤是 MCI 患者平衡功能障碍的神经学基础。MCI 患者在以下方面与认知正常老年人存在差异。(1)静态平衡功能参数:如 OLST 持续时间、COP 时频域参数等;(2)动态平衡功能参数:如 TUGT 持续时间、SOT 综合评分、SOT 视觉评分、SOT 前庭觉评分、LOS 的反应速度、运动速度、终点漂移、最大漂移、方向控制、PSI、MLSI、IPS 等。MCI 患者平衡功能与视空间功能、执行功能和整体认知功能存在相关性。平衡功能测试凭借其评测的准确性和便捷性可以辅助认知功能量表评估,进而提高筛查效率。目前,国外已将单一的平衡功能测试指标拓展到涵盖平衡功能相关行为信号,而国内关于认知障碍领域的平衡功能研究较少。未来,应深入研究平衡功能与认知功能的神经机制,为设计基于平衡功能的 MCI 筛查方案提供理论依据。此外,应深入研究涉及视空间功能、执行功能的特异性平衡功能评测指标,构建基于评估躯体功能和运动功能的 MCI 筛查范式。

**利益冲突** 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

**作者贡献声明** 资料收集、论文撰写为顾剑鹏,论文修改为柏亚妹、宋玉磊、殷海燕、张薛晴、戚馨如,徐桂华和杜丹丹审校

## 参 考 文 献

- [1] Jia L, Du Y, Chu L, et al. Prevalence, risk factors, and management of dementia and mild cognitive impairment in adults aged 60 years or older in China: a cross-sectional study [J]. *Lancet Public Health*, 2020, 5(12): e661-e671. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30185-7.
- [2] Bahureksa L, Najafi B, Saleh A, et al. The impact of mild cognitive impairment on gait and balance: a systematic review and Meta-analysis of studies using instrumented assessment [J]. *Gerontology*, 2017, 63(1): 67-83. DOI: 10.1159/000445831.
- [3] Suzuki Y, Tsubaki T, Nakaya K, et al. New balance capability index as a screening tool for mild cognitive impairment [J]. *BMC Geriatr*, 2023, 23(1): 74. DOI: 10.1186/s12877-023-03777-6.
- [4] 王志伟, 金建烽, 严清章, 等. 轻度认知障碍患者平衡功能与视空间感知功能的关系 [J]. 中国健康心理学杂志, 2016, 24(12): 1778-1782. DOI: 10.13342/j.cnki.cjhp.2016.12.004. Wang ZW, Jin JF, Yan QZ, et al. The relationship of visuospatial perception function and balance function in patients with mild cognitive impairment [J]. *Chinese Journal of Health Psychology*, 2016, 24(12): 1778-1782.
- [5] 史建平, 潘佳, 赵彬, 等. 阿尔茨海默病患者平衡功能与认知功能的相关性 [J]. 中国健康心理学杂志, 2016, 24(6): 809-812. DOI: 10.13342/j.cnki.cjhp.2016.06.004. Shi JP, Pan J, Zhao B, et al. The correlations of balance function and cognition function in patients with Alzheimer's disease [J]. *Chinese Journal of Health Psychology*, 2016, 24(6): 809-812.
- [6] 燕铁斌, 金冬梅. 平衡功能的评定及平衡功能训练 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2007, 29(11): 787-789. DOI: 10.3760/j.issn: 0254-1424.2007.11.019.
- [7] 中国老年保健医学研究会老龄健康服务与标准化分会,《中国老年保健医学》杂志编辑委员会,北京小汤山康复医院. 中国社区平衡功能障碍评定与康复治疗技术专家共识 [J]. 中国老年保健医学, 2019, 17(4): 27-36. DOI: 10.3969/j.issn. 1672-2671.2019.04.008.
- [8] Lee JM, Koh SB, Chae SW, et al. Postural instability and cognitive dysfunction in early Parkinson's disease [J]. *Can J Neurol Sci*, 2012, 39(4): 473-482. DOI: 10.1017/s0317167100013986.
- [9] Kamil RJ, Jacob A, Ratnanather JT, et al. Vestibular function and hippocampal volume in the baltimore longitudinal study of aging (BLSA) [J]. *Otol Neurotol*, 2018, 39(6): 765-771. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001838.
- [10] Brandt T, Schautzter F, Hamilton DA, et al. Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans [J]. *Brain*, 2005, 128(Pt 11): 2732-2741. DOI: 10.1093/brain/awh617.
- [11] Kim HJ, Jeong S, Oh YH, et al. Association of balance impairment with risk of incident dementia among older adults [J]. *J Prev Alzheimer Dis*, 2024, 11(1): 130-137. DOI: 10.14283/jpad.2023.79.
- [12] Geroldi C, Ferrucci L, Bandinelli S, et al. Mild cognitive deterioration with subcortical features: prevalence, clinical characteristics, and association with cardiovascular risk factors in community-dwelling older persons (The InCHIANTI Study) [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2003, 51(8): 1064-1071. DOI: 10.1046/j.1532-5415.2003.51353.x.
- [13] Tucholka A, Grau-Rivera O, Falcon C, et al. Structural connectivity alterations along the Alzheimer's disease continuum: reproducibility across two independent samples and correlation with cerebrospinal fluid amyloid- $\beta$  and tau [J]. *J Alzheimer Dis*, 2018, 61(4): 1575-1587. DOI: 10.3233/JAD-170553.
- [14] Levin O, Vints W, Ziv G, et al. Neurometabolic correlates of posturography in normal aging and older adults with mild cognitive impairment: evidence from a 1H-MRS study [J]. *Neuro Image Clin*, 2023, 37: 103304. DOI: 10.1016/j.nic. 2022.103304.
- [15] Wang X, Yu W, Huang L, et al. Gait indicators contribute to screening cognitive impairment: a single- and dual-task

- gait study [J]. *Brain Sci*, 2023, 13(1): 154. DOI: 10.3390/brainsci13010154.
- [16] Yoon B, Choi SH, Jeong JH, et al. Balance and mobility performance along the Alzheimer's disease spectrum [J]. *J Alzheimer Dis*, 2020, 73(2): 633-644. DOI: 10.3233/JAD-190601.
- [17] 何子薇, 王健. 站姿平衡与姿势控制检测技术研究进展 [J]. *浙江体育科学*, 2023, 45(4): 99-104. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3624.2023.04.017.
- He ZW, Wang J. Research progress of standing balance and posture control detection technology [J]. *Zhejiang Sports Science*, 2023, 45(4): 99-104.
- [18] Borges AP, Carneiro JA, Zaia JE, et al. Evaluation of postural balance in mild cognitive impairment through a three-dimensional electromagnetic system [J]. *Braz J Otorhinolaryngol*, 2016, 82(4): 433-441. DOI: 10.1016/j.bjorl.2015.08.023.
- [19] Leandri M, Campbell J, Molfetta L, et al. Relationship between balance and cognitive performance in older people [J]. *J Alzheimer Dis*, 2015, 45(3): 705-707. DOI: 10.3233/JAD-142883.
- [20] 齐刘心, 周勉, 王祥宇, 等. 支撑面稳定性在不同视觉输入条件下对轻度认知障碍老年人平衡能力的影响 [J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(24): 3897-3902. DOI: 10.12307/2024.602. Qi LX, Zhou M, Wang XY, et al. Effect of support surface stability on balance in the elderly with mild cognitive impairment under different visual input conditions [J]. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*, 2024, 28(24): 3897-3902.
- [21] Bosmans J, Gommersen H, Gilles A, et al. Evidence of vestibular and balance dysfunction in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease [J]. *Ear Hear*, 2024, 45(1): 53-61. DOI: 10.1097/AUD.0000000000001401.
- [22] Ng TP, Lee TS, Lim WS, et al. Functional mobility decline and incident mild cognitive impairment and early dementia in community-dwelling older adults: the Singapore longitudinal ageing study [J]. *Age Ageing*, 2022, 51(9): afac182. DOI: 10.1093/ageing/afac182.
- [23] 刘延丽, 马雅军, 潘燕, 等.“起立-行走”计时测试表现与中国华东地区老年人认知障碍相关 [J]. *基础医学与临床*, 2022, 42(7): 1042-1046. DOI: 10.16352/j.issn.1001-6325.2022.07.1042. Liu YL, Ma YJ, Pan Y, et al. Timed Up and Go test is associated with cognitive impairment in elders from East China [J]. *Basic and Clinical Medicine*, 2022, 42(7): 1042-1046.
- [24] Cui Y, Liu B, Zhou J, et al. Quantitative analysis of balance function characteristics in older patients with mild to moderate cognitive impairment [J]. *Exp Gerontol*, 2023, 182: 112302. DOI: 10.1016/j.exger.2023.112302.
- [25] Baydan M, Caliskan H, Balam-Yavuz B, et al. The interaction between mild cognitive impairment with vestibulo-ocular reflex, dynamic visual acuity and postural balance in older adults [J]. *Exp Gerontol*, 2020, 130: 110785. DOI: 10.1016/j.exger.2019.110785.
- [26] Kostic E, Kwak K, Kim D. Changes in sensory, postural stability and gait functions depending on cognitive decline, and possible markers for detection of cognitive status [J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2022, 22(Suppl 5): 252. DOI: 10.1186/s12911-022-01955-x.
- [27] Ide R, Ota M, Hada Y, et al. Dynamic balance deficit and the neural network in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment [J]. *Gait Posture*, 2022, 93: 252-258. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2022.01.018.
- [28] Taylor ME, Lord SR, Delbaere K, et al. Reaction time and postural sway modify the effect of executive function on risk of falls in older people with mild to moderate cognitive impairment [J]. *Am J Geriatr Psychiatry*, 2017, 25(4): 397-406. DOI: 10.1016/j.jagp.2016.10.010.
- [29] Ödemişlioğlu-Aydın EA, Aksoy S. Evaluation of balance and executive function relationships in older individuals [J]. *Aging Clin Exp Res*, 2023, 35(11): 2555-2562. DOI: 10.1007/s40520-023-02534-4.
- [30] Naito T, Suzuki Y, Yamasue K, et al. Relationship between cognitive function and sway of body in standing posture: a cross-sectional study [J]. *Geriatrics (Basel)*, 2023, 8(2): 29. DOI: 10.3390/geriatrics8020029.
- [31] 李淑娟, 刘倩, 李言洵, 等. 老年认知功能障碍与运动功能的相关性研究 [J]. *中国全科医学*, 2017, 20(18): 2193-2196. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2017.18.005.
- Li SJ, Liu Q, Li YX, et al. Correlation between cognitive impairment and motor function in the elderly [J]. *Chinese General Practice*, 2017, 20(18): 2193-2196.
- [32] Costa L, Gago MF, Yelshyna D, et al. Application of machine learning in postural control kinematics for the diagnosis of Alzheimer's disease [J]. *Comput Intell Neurosci*, 2016, 2016: 3891253. DOI: 10.1155/2016/3891253.
- [33] Jamshed M, Shahzad A, Riaz F, et al. Exploring inertial sensor-based balance biomarkers for early detection of mild cognitive impairment [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 9829. DOI: 10.1038/s41598-024-59928-1.
- [34] 朱奕潼. 轻度认知损害患者步态特征的研究进展 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2020, 42(9): 849-852. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3624.2023.04.017.
- [35] Lin J, Xu T, Yang X, et al. A detection model of cognitive impairment via the integrated gait and eye movement analysis from a large Chinese community cohort [J]. *Alzheimers Dement*, 2024, 20(2): 1089-1101. DOI: 10.1002/alz.13517.

(收稿日期: 2024-12-25)

(本文编辑: 王影)