

轻度认知障碍老人与认知正常老人在不同单双任务下姿势控制能力的差异性

张雨馨¹, 于 聪¹, 张 翠², 丁建军¹, 陈 岩³<https://doi.org/10.12307/2025.342>

投稿日期: 2024-03-25

采用日期: 2024-04-30

修回日期: 2024-05-28

在线日期: 2024-06-20

中图分类号:

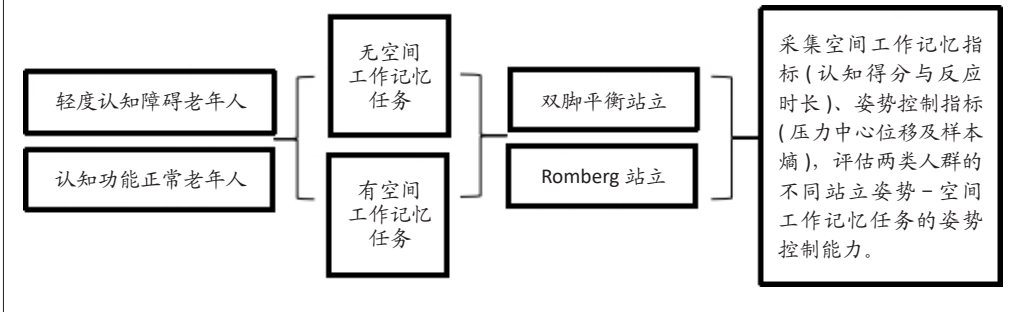
R496; R318; R873

文章编号:

2095-4344(2025)08-01643-07

文献标识码: B

文章快速阅读: 认知功能损伤对站立姿势控制能力的影响



文题释义:

轻度认知障碍老年人: 轻度认知障碍是介于正常认知和痴呆的一个过渡阶段, 记忆或其他认知功能减退, 又不足以诊断为痴呆, 且日常生活能力好的一种亚临床状态。轻度认知障碍老年人患痴呆以及发生跌倒和平衡能力下降的风险很高。

压力中心位移样本熵: 样本熵是一种用于量化数据的随机性和不确定性的统计指标, 用于分析时间序列数据的复杂性和非线性特征。在人体运动学分析中, 以足底压力中心位移样本熵值衡量姿势控制的复杂程度。

摘要

背景: 老年人由于轻度认知障碍而引起姿势控制能力下降, 导致跌倒风险增高。双任务是在接近真实生活场景下评估认知与姿势控制能力关系的主要研究范式, 站立时足底压力中心位移样本熵可代表姿势控制的复杂程度。

目的: 基于压力中心位移样本熵分析轻度认知障碍老年人与认知正常老人在姿势控制-空间工作记忆任务中姿势稳定性特征及控制策略的差异, 探究认知功能损伤对站立姿势控制能力影响。

方法: 筛选出符合条件的16名轻度认知障碍老年人和17名认知正常老年人作为研究对象, 老年人分别完成5种测试任务, 包括空间工作记忆、双脚平衡站立、Romberg 站立、双脚平衡站立-空间工作记忆双任务、Romberg 站立-空间工作记忆双任务, 每个任务有效完成3次。使用Kistler三维测力台采集足底压力中心数据, 测试指标包括认知行为学指标(认知得分与反应时长)、动力学指标(压力中心位移及样本熵)。

结果与结论: ①轻度认知障碍老年人在执行空间工作记忆任务时认知得分最大、反应时间最短, 双脚平衡站立-空间工作记忆双任务居中, Romberg 站立-空间工作记忆双任务认知得分最小、反应时长最长, 任务间比较差异均有显著性意义($P < 0.05$); ②与双脚平衡站立、Romberg 站立任务相比, 轻度认知障碍老年人在执行双任务时压力中心前后、内外方向位移显著更大, 压力中心前后、内外方向位移样本熵值显著更小($P < 0.05$); ③在空间工作记忆任务下, 轻度认知障碍老年人与认知正常老年人的认知得分、反应时长差异均无显著性意义($P > 0.05$); 在两种双任务下, 与认知正常老年人相比, 轻度认知障碍老年人的认知得分更小、反应时长更长($P < 0.05$), 同时轻度认知障碍老年人压力中心前后、内外方向位移更大, 压力中心前后、内外方向位移样本熵值更小($P < 0.05$); ④结果表明: 与认知正常老年人相比, 轻度认知障碍老年人在执行双任务时姿势控制复杂度降低, 系统适应性较差, 自动调控能力下降, 更容易受到空间工作记忆干扰, 跌倒风险增大。

关键词: 轻度认知障碍; 老年人; 空间工作记忆; 姿势控制; 双任务; 样本熵

Differences in postural control ability between older adults with mild cognitive impairment and those with normal cognition under different single-task and dual-task conditions

Zhang Yuxin¹, Yu Cong¹, Zhang Cui², Ding Jianjun¹, Chen Yan³¹Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China; ²Shandong Sports Science Research Center, Jinan 250102, Shandong Province, China;³College of Sports and Health, Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China

Zhang Yuxin, Master candidate, Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China

Corresponding author: Chen Yan, PhD, Professor, College of Sports and Health, Shandong Sport University, Jinan 250102, Shandong Province, China

¹ 山东体育学院, 山东省济南市 250102; ² 山东省体育科学研究中心, 山东省济南市 250102; ³ 山东体育学院运动与健康学院, 山东省济南市 250102

第一作者: 张雨馨, 女, 1999年生, 山东省泰安市人, 汉族, 山东体育学院2022级在读硕士, 主要从事康复生物力学与脑机制方面的研究。

通讯作者: 陈岩, 博士, 教授, 山东体育学院运动与健康学院, 山东省济南市 250102

<https://orcid.org/0009-0009-4572-4276>(张雨馨)

基金资助: 国家自然科学基金项目(12102235), 项目负责人: 张翠; 国家体育总局科技创新项目(23KJCX058), 项目负责人:

陈岩

引用本文: 张雨馨, 于聪, 张翠, 丁建军, 陈岩. 轻度认知障碍老人与认知正常老人在不同单双任务下姿势控制能力的差异性 [J].

中国组织工程研究, 2025, 29(8):1643-1649.



Abstract

BACKGROUND: The decreased postural control ability due to mild cognitive impairment in elderly people leads to the increased risk of falls. Dual-task is the primary research paradigm for evaluating the relationship between cognition and postural control in the scenes close to real life. The sample entropy of the plantar center of pressure (COP) displacement during standing can represent the complexity of postural control.

OBJECTIVE: Based on the COP displacement sample entropy, to analyze the differences in postural stability characteristics and control strategies between older adults with mild cognitive impairment and cognitively normal older adults during the dual-task with postural control and spatial working memory, aiming to explore the impact of cognitive impairment on the postural control ability during standing.

METHODS: Sixteen older adults with mild cognitive impairment and 17 cognitively normal older adults were eligible and selected for the study. They completed five test tasks, including spatial working memory, double-feet balance stance, Romberg stance, double-feet balance stance-spatial working memory dual-task, and Romberg stance-spatial working memory dual-task, with three valid completions of each task. The plantar COP data were collected by the Kistler 3D force platform. The indicators included cognitive behavior (cognitive score and reaction time) and kinematic indexes (COP displacement and sample entropy).

RESULTS AND CONCLUSION: The older adults with mild cognitive impairment performed the spatial working memory task with the greatest cognitive score and the shortest reaction time, the double-feet balance stance-spatial working memory dual-task with moderate cognitive score and reaction time, and the Romberg stance-spatial working memory dual-task with the smallest cognitive score and the longest reaction time, where the differences were significant among the tasks ($P < 0.05$). In the older adults with mild cognitive impairment, the anterior-posterior and medial-lateral COP displacements were significantly greater, and their sample entropy values were significantly smaller in the double-feet balance stance-spatial working memory dual-task and Romberg stance-spatial working memory dual-task than in the double-feet balance stance and Romberg stance tasks ($P < 0.05$). In the spatial working memory task, there were no significant differences in cognitive score and reaction time between the both groups ($P > 0.05$); however, in the double-feet balance stance-spatial working memory dual-task and Romberg stance-spatial working memory dual-task, cognitive scores were significantly smaller and reaction times were longer in the older adults with mild cognitive impairment compared with the cognitively normal older adults ($P < 0.05$). In the double-feet balance stance-spatial working memory dual-task and Romberg stance-spatial working memory dual-task, the older adults with mild cognitive impairment exhibited significantly greater anterior-posterior and medial-lateral COP displacements and significantly smaller sample entropy values compared with the cognitively normal older adults ($P < 0.05$). All findings indicate that compared with cognitively normal older adults, older adults with mild cognitive impairment exhibit smaller complexity, poorer systematic adaption and decreased automatic regulation of the postural control during performing the dual-tasks, who are more susceptible to spatial working memory interference, leading to the increased risk of falls.

Key words: mild cognitive impairment; older adults; spatial working memory; postural control; dual-task; sample entropy

Funding: National Natural Science Foundation of China, No. 12102235 (to ZC); Science and Technology Innovation Project of General Administration of Sport of China, No. 23KJCX058 (to CY)

How to cite this article: ZHANG YX, YU C, ZHANG C, DING JJ, CHEN Y. Differences in postural control ability between older adults with mild cognitive impairment and those with normal cognition under different single-task and dual-task conditions. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2025;29(8):1643-1649.

0 引言 Introduction

随着社会老龄化加速,老年人口大幅增加,老年人的健康问题愈发引起人们的关注和重视。伴随着系统功能的退化,认知功能衰退成为老年人常见问题之一,其中轻度认知障碍严重影响老年人的生活质量和自理能力,日益成为全球性挑战。轻度认知障碍是介于正常认知和痴呆之间的一种过渡状态,被视为痴呆症的高危风险因素^[1-4]。认知功能下降是导致轻度认知障碍老年人跌倒的重要影响因素之一^[5]。跌倒严重危害轻度认知障碍老年人身体健康及生活质量。

姿势控制是指在支撑基础上保持稳定的能力^[6]。姿势控制能力衰退是轻度认知障碍老年人容易发生跌倒的直接原因。日常生活中维持直立或较为简单的姿势平衡无需有意识的努力,人们经常需要执行双任务或多任务,如步行时打电话、沟通等,而良好的姿势控制需要多系统相互配合、共同调节才能实现^[7]。为更好地分析系统之间的协调配合程度,通常采用双任务范式,对老年人是非常复杂和具有挑战性的^[8]。轻度认知障碍人群相比于认知正常老年人,具有轻度的客观认知障碍、相对良好的身体功能,但却处于亚临床状态的姿势控制不足,有很高的跌倒风险,是临床上使用双任务测试的重要群体。双任务测试在轻度认知障碍诊断和识别特定的身体姿势控制能力具有良好的敏感性^[9]。

站立时发生姿势摆动,可以通过测力台测量支撑面上的压力中心的位移进行量化^[10-11]。使用测力台进行的稳

定性分析具有良好的组内和组间信度^[12-13],是评价静态姿势控制能力的黄金指标^[14-17]。研究证实,老年人的压力中心是评估跌倒风险的有效工具^[18]。压力中心越稳定,代表姿势控制能力越好,跌倒的风险越小^[19]。计算压力中心参数有两种主要方法:线性和非线性分析。线性压力中心参数,如摇摆范围(压力中心位移)等,可以提供运动量信息,但不能提供任何关于运动模式的时间演变结构、姿势控制的潜在控制机制及其隐藏的动力学信息^[20]。而非线性分析检查压力中心时间序列的动态结构,可补充传统的线性分析^[21]。样本熵是一种时间序列的非线性度量,压力中心位移样本熵作为量化压力中心位移、探索压力中心波动随机性或可预测性的指标,现已成为表示压力中心时间序列的复杂性、评价姿势稳定性最常用的方法^[22-23]。较低的熵值表明压力中心更加规则和可预测,这与较低的姿势调控复杂度有关^[24]。复杂度对适应环境的灵活性至关重要,低复杂度转化为低灵活性和高姿势控制刚性^[25]。也就是说,较低的样本熵意味着压力中心位移的规律性增加,被认为是一种姿势控制的低效策略;相反,较高的样本熵反映了压力中心位移的复杂度(灵活性)增加,被认为是身体改进自组织力和姿势控制的有效策略^[22]。

以往的研究主要探讨了老年人站立姿势控制能力表现,然而对轻度认知障碍老年人姿势控制过程的研究较少。压力中心位移样本熵度量足底压力中心时间序列变化,反映姿势控制的复杂度,可以更全面深入分析姿势

控制特征及策略。所以, 此项研究基于压力中心位移样本熵对比轻度认知障碍老年人在姿势控制-空间工作记忆双任务下姿势控制特征差异, 探究认知功能损伤对站立姿势控制能力的影响, 为预防跌倒和姿势稳定康复训练提供理论依据。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 横向运动生物力学试验, 采用双因素方差分析。

1.2 时间及地点 该研究于 2022 年 11 月在山东体育学院运动生物力学实验室完成。

1.3 对象 使用蒙特利尔认知量表 (Montreal cognitive assessment-basic, MoCA-B) 对老年人的认知水平进行评估, 筛选出符合试验要求的受试者。MoCA-B 共有 10 大项, 总分 30 分, 约在 15 min 内完成, 评分越低说明认知障碍越严重。若评估分数 ≤ 26 分, 且未表现出明显的老年痴呆症状, 归类为轻度认知障碍老年人; 若评估分数 > 26 分, 归类为认知正常老年人。最终招募到受试者共 33 人, 其中轻度认知障碍老年人 16 人、认知正常老年人 17 人。研究方案得到山东体育学院运动科学伦理委员会批准 (批准号: 2022020), 所有受试者均了解试验内容, 并自愿签署知情同意书。

纳入标准: ①年龄 ≥ 65 周岁; ②视力正常; ③无踝关节、膝关节损伤的经历或受过损伤但对站立平衡无影响; ④右利手; ⑤无脑损伤史以及神经系统疾病病史, 近期末服用精神类药物。

排除标准: ①有神经系统疾病、肌肉骨骼系统、心血管系统、呼吸系统、影响视力水平的严重疾病; ②最近 6 个月使用过影响神经系统的药物; ③最近 6 个月内发生过跌倒; ④认知障碍严重损害 (MoCA-B 评分 < 20 分)。

1.4 方法

1.4.1 空间工作记忆任务 认知任务采用 Brooks 空间工作记忆测试^[26]。其测试流程如下: 首先让受试者在脑海中想象一个 4×4 的矩阵 (图 1), 给予受试者 8 个描述数字空间位置关系的句子, 如: ①开始的地方为数字 1、② 2 在 1 的右边、③ 3 在 2 的上面、④ 4 在 3 的右边、⑤ 5 在 4 的下边、⑥ 6 在 5 的下边、⑦ 7 在 6 的左边、⑧ 8 在 7 的下边, 研究者只说 1 次。数字 1 的位置被固定在矩阵的第 2 行、第 2 列位置, 让受试者在脑海矩阵中记忆数字与数字之间的位置, 随后让受试者按照数字 1-8 的顺序复述数字的位置关系。受试者需复述 2 次, 以保证足够的测试时长。如果复述感到困难, 可以用自己的话描述位置关系。

为保证每次测试中 8 句数字位置关系描述不重复, 研究者准备了 20 种不同数字排布方式并按照 1-20 编号, 受试者以抓阄的方式选取 10 种, 在之后的认知测试中随

		3	4
	1	2	5
		7	6
		8	

图 1 | 空间工作记忆示例

Figure 1 | Example of spatial working memory

机使用。在正式试验前, 要求受试者使用示例练习, 直至完全理解认知任务。

1.4.2 测试流程 测试时, 受试者需更换专用测试鞋, 采用顺序随机的方式完成 5 种测试任务, ①空间工作记忆 (SIT): 坐在舒服的椅子上完成 Brooks 空间工作记忆任务测试; ②双脚平衡站立 (SD): 受试者站在测力台上, 双脚平行放置, 直膝直髌, 上身挺直, 双眼平视前方, 双手自然下垂, 保持自然状态站立 30 s; ③ Romberg 站立 (SR): 受试者站在测力台上, 优势脚在前、非优势脚在后, 非优势脚的脚趾抵住优势脚的脚跟, 上身挺直, 双眼平视前方, 双手自然下垂, 保持自然状态站立 30 s; ④双脚平衡站立-空间工作记忆双任务 (DD): 双脚平衡站立同时执行空间工作记忆测试; ⑤ Romberg 站立-空间工作记忆双任务 (DR): Romberg 站立同时执行空间工作记忆测试。

测试时安排专人站在老年人身后进行保护, 预防老年人摔倒。使用三维测力台 (Kistler, 9287BA, Winterthur, Switzerland) 采集站立过程中的足底压力中心摆动轨迹, 采集频率为 1 000 Hz^[27]。双任务测试过程中, 数据采集时段是受试者保持姿势站立时复述认知任务阶段。每个任务采集有效数据 3 次, 每次间隔 1 min 休息, 避免疲劳产生误差。

1.5 主要观察指标

1.5.1 行为学指标 在进行空间工作记忆、双脚平衡站立-空间工作记忆双任务、Romberg 站立-空间工作记忆双任务时, 记录轻度认知障碍老年人和认知正常老年人复述正确的句子和复述所用时间。除了第一句话, 受试者每复述正确一句得 1 分, 共 14 分。认知得分是复述正确的句子总数, 单位为分; 反应时长是一次测试中复述所用总时间, 单位为秒 (s)。认知得分越高、反应时长越短说明空间工作记忆功能越好。计算每个任务下 3 次测试结果的平均值, 用于统计分析。

1.5.2 动力学指标 根据测力台压力中心数据计算常用指标压力中心位移^[28]。使用 Nexus 1.7.1 软件导出压力中心

数据, 输出格式为 csv 文件并保存。使用 Visual 3D 软件将受试者每个任务下的压力中心数据进行百分化处理。利用 Microsoft Office Excel 2010 软件将百分化后的压力中心数据进行转化, 并另存为 xlsx 格式。压力中心位移是通过测力台取得的压力中心摆动曲线在内外和前后方向的最大距离差值, 分为前后方向位移 (压力中心 ap) 与内外方向位移 (压力中心 ml), 单位为 m。数值越大, 代表此方向姿势摆动幅度越大, 姿势控制能力越差。计算每个任务下 3 次测试结果的平均值, 用于统计分析。

1.5.3 压力中心位移样本熵 使用 Python 及 Pycharm (V3.9 base, Python Foundation, Delaware, USA) 软件自行编制计算样本熵的代码程序, 应用于提取的 csv 格式文件中, 计算前后 (SampEn- 压力中心 ap)、内外 (SampEn- 压力中心 ml) 方向压力中心位移样本熵。计算每个任务下 3 次测试结果的平均值, 用于统计分析。SampEn- 压力中心 ap 与 SampEn- 压力中心 ml 反映足底压力中心在前后、内外方向上变化的不确定性或混乱程度的度量。较高的样本熵表示足底压力中心在此方向上的变化更为复杂和随机, 而较低的样本熵则表示其变化更为规律和可预测。数值越小, 代表此方向姿势控制不确定性程度越低, 姿势调控复杂度越低, 灵活性越差。以下为样本熵的计算公式:

式 (1): 将连续的时间序列压力中心数据 $\{x(n)\}=x(1), x(2), x(n), \dots$, 按序号组成一组维数为 m 的向量序列:

$$x(i)=\{x(i), x(i+1), \dots, x(i+m-1)\} \quad (1)$$

式 (2): 定义式 (2) 中的 $D[x(i), x(j)]$ 为 i 与 j 间的距离 (i 不等于 j)。

$$D[x(i), x(j)]=\max_{k \in \{0, m-1\}} |x(i+k)-x(j+k)| \quad (2)$$

式 (3): 赋值 r , 统计 $D[x(i), x(j)] < r$ 的数目并计算与 $N-m$ 的熵。

$$C^m(r)=1/(N-m) \text{num}\{d[x(i), x(j)] < r\} \quad (3)$$

式 (4): 对结果求均值。

$$C^m(r)=1/(N-m+1) \sum_{i=1}^{N-m+1} C_i^m(r) \quad (4)$$

式 (5): 将维数 +1, 重复第 1 到第 4 步, 最终便可以根据式 (5) 计算出样本熵。

$$\text{SampEn}(m, r, n)=-\ln[C^{m+1}(r)/C^m(r)] \quad (5)$$

1.6 统计学分析 使用 IBM SPSS statistics 26.0 软件输入并分析数据。使用 Shapiro-Wilk test 检验数据的正态性。数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。对两类人群的身高、年龄、体质量、MoCA 得分、受教育年限进行独立样本 t 检验。对行为学指标 (认知得分与反应时长)、动力学指标 (压力中心位移、压力中心位移样本熵) 采用双因素方差分析, 研究自变量为组别 (轻度认知障碍老年人组、认知正常老年人组) 和任务 (5 种任务)。如果存在交互效应, 使用简单效应分析进行事后两两比较, 使用 Bonferroni 进行校正。如果不符合正态性, 采用非参数检

验。该文的统计学方法已经由山东体育学院生物统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 受试者数量分析 纳入 33 名受试者, 实验全程参与完成, 均进入结果分析。

2.2 试验流程图 见图 2。

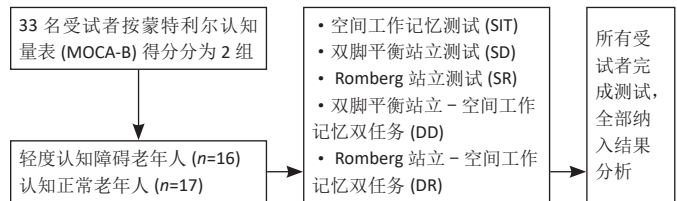


图 2 | 试验流程图

Figure 2 | Flow chart of the trial

2.3 基线资料比较 两组受试者基线资料比较, 除 MoCA-B 得分有显著差异外, 其他基线指标的差异均无显著性意义 ($P > 0.05$), 具有可比性, 见表 1。

表 1 | 受试者基线资料比较

Table 1 | Comparison of baseline information of subjects in both groups

项目	轻度认知障碍老年人 (n=16)	认知正常老年人 (n=17)	t 值	P 值
性别 (男 / 女, n)	13/3	13/4		
MoCA-B ($\bar{x} \pm s$, 分)	22.56 $\pm$ 1.93	27.12 $\pm$ 0.99	-8.599	< 0.001
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	67.44 $\pm$ 2.19	68.18 $\pm$ 2.34	0.292	0.773
身高 ($\bar{x} \pm s$, cm)	163.02 $\pm$ 3.98	164.42 $\pm$ 3.70	-0.160	0.297
体质量 ($\bar{x} \pm s$, kg)	62.86 $\pm$ 6.30	64.70 $\pm$ 5.21	-0.914	0.368
受教育年限 ($\bar{x} \pm s$, 年)	7.31 $\pm$ 2.44	7.06 $\pm$ 2.36	0.304	0.763

2.4 空间工作记忆行为学结果 认知得分与反应时长在组别与任务间具有交互效应 ($P < 0.05$), 事后两两比较见表 2。

表 2 | 两组老年人受试者空间工作记忆行为学数据

Table 2 | Behavioral data of spatial working memory test in older adults

组别	认知得分	反应时长 (s)
轻度认知障碍老年人 (n=16)		
SIT	9.501 $\pm$ 1.826	46.625 $\pm$ 7.089
DD	6.875 $\pm$ 2.062	54.751 $\pm$ 7.751
DR	4.501 $\pm$ 2.033	62.250 $\pm$ 7.793
认知正常老年人 (n=17)		
SIT	10.034 $\pm$ 2.121	43.353 $\pm$ 5.243
DD	9.412 $\pm$ 1.502	48.765 $\pm$ 6.359
DR	6.882 $\pm$ 1.616	50.118 $\pm$ 6.594
任务交互效应		
F 值	3.927	3.233
P 值	0.048	0.030
η_p^2 值	0.106	0.072

表注: SIT 为空间工作记忆; DD 为双脚平衡站立 - 空间工作记忆双任务; DR 为 Romberg 站立 - 空间工作记忆双任务。

①轻度认知障碍老年人在执行 SIT 任务时认知得分最大, DD 任务居中, DR 任务最小, 任务间比较差异均有显

著性意义 (SIT vs. DD, $P < 0.001$; SIT vs. DR, $P < 0.001$; DD vs. DR, $P=0.002$); 轻度认知障碍老年人在执行 SIT 任务时反应时长最短, DD 任务居中, DR 任务最长, 任务间比较差异均有显著性意义 (SIT vs. DD, $P=0.003$; SIT vs. DR, $P < 0.001$; DD vs. DR, $P=0.008$)。②认知正常老年人在执行 DR 任务时认知得分最小, 显著小于 SIT 任务 ($P < 0.001$) 和 DD 任务 ($P=0.006$), SIT 任务与 DD 任务比较差异无显著性意义 ($P=0.528$); 认知正常老年人在执行 SIT 任务时反应时长最短, 显著短于 DD 任务 ($P=0.019$) 和 DR 任务 ($P=0.015$), 但 DD 任务与 DR 任务比较差异无显著性意义 ($P=0.788$)。③在 SIT 任务下, 两组老年人的认知得分、反应时长比较均差异无显著性意义 (认知得分 $P=0.445$, 反应时长 $P=0.439$); 在 DD 任务下, 轻度认知障碍老年人的认知得分显著小于认知正常老年人 ($P < 0.001$), 反应时长显著大于认知正常老年人 ($P=0.014$); 在 DR 任务下, 轻度认知障碍老年人的认知得分显著小于认知正常老年人 ($P < 0.001$), 反应时长显著大于认知正常老年人 ($P < 0.001$)。

2.5 不同站立任务下足底压力中心位移结果 压力中心位移在组别与任务间具有交互效应 ($P < 0.05$), 事后两两比较见表 3。

表 3 | 两组老年人受试者单、双任务站立时压力中心位移结果 ($\bar{x} \pm s$, m)
Table 3 | Center of pressure displacement in older adults during single- and dual-task stance

组别	压力中心 _{ap}	压力中心 _{ml}
轻度认知障碍老年人 ($n=16$)		
SD	0.045±0.015	0.043±0.013
SR	0.073±0.028	0.082±0.025
DD	0.054±0.018	0.069±0.018
DR	0.093±0.037	0.130±0.037
认知正常老年人 ($n=17$)		
SD	0.047±0.013	0.039±0.006
SR	0.065±0.024	0.066±0.014
DD	0.045±0.012	0.063±0.022
DR	0.081±0.027	0.095±0.045
任务交互效应		
F 值	9.571	11.934
P 值	0.019	< 0.001
η_p^2 值	0.224	0.168

表注: SD 为双脚平衡站立; SR 为 Romberg 站立; DD 为双脚平衡站立 - 空间工作记忆双任务; DR 为 Romberg 站立 - 空间工作记忆双任务; ap: 前后方向位移; ml: 内外方向位移。

轻度认知障碍老年人在执行 DR 任务时前后、内外方向压力中心位移最大 (DR vs. SD, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$; DR vs. SR, 前后 $P=0.017$, 内外 $P < 0.001$; DR vs. DD, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$), 执行 SD 时最小 (SD vs. SR, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$; SD vs. DD, 前后 $P=0.031$, 内外 $P < 0.001$)。

在 SR、DD、DR 任务下, 轻度认知障碍老年人前后、内外方向压力中心位移显著大于认知正常老年人 (SR

前后 $P=0.034$, 内外 $P < 0.001$; DD 前后 $P=0.043$, 内外 $P=0.001$; DR 前后 $P=0.015$, 内外 $P=0.026$)。

2.6 不同站立任务下足底压力中心位移样本熵结果 压力中心位移样本熵在组别与任务间具有交互效应 ($P < 0.05$), 事后两两比较见表 4。

表 4 | 两组老年人受试者单、双任务站立时压力中心位移样本熵结果 ($\bar{x} \pm s$)
Table 4 | The sample entropy of the center of pressure displacement during single- and dual-task stance

组别	SampEn- 压力中心 _{ap}	SampEn- 压力中心 _{ml}
轻度认知障碍老年人 ($n=16$)		
SD	1.229±0.491	0.966±0.108
SR	1.478±0.145	1.217±0.283
DD	0.904±0.049	0.722±0.157
DR	0.631±0.207	0.525±0.174
认知正常老年人 ($n=17$)		
SD	1.241±0.386	0.991±0.123
SR	1.556±0.523	1.345±0.125
DD	0.974±0.214	0.829±0.101
DR	0.691±0.201	0.621±0.067
任务交互效应		
F 值	5.762	6.241
P 值	0.048	0.036
η_p^2 值	0.121	0.154

表注: SD 为双脚平衡站立; SR: Romberg 站立; DD 为双脚平衡站立 - 空间工作记忆双任务; DR 为 Romberg 站立 - 空间工作记忆双任务。ap: 前后方向位移; ml: 内外方向位移; SampEn: 样本熵。

轻度认知障碍老年人在执行 DR 任务时前后、内外方向的压力中心位移样本熵最小 (DR vs. SD, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$; DR vs. SR, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$; DR vs. DD, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$), 执行 SR 任务时最大 (SR vs. SD, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$; SR vs. DD, 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$)。

在 SR、DD、DR 任务下, 轻度认知障碍老年人前后、内外方向压力中心位移样本熵显著小于认知正常老年人 (SR 前后 $P < 0.001$, 内外 $P < 0.001$; DD 前后 $P=0.001$, 内外 $P=0.001$; DR 前后 $P=0.003$, 内外 $P=0.002$)。

2.7 不良事件 两组受试者在完成 5 种测试任务的过程中, 全程受到安全保护, 未发生跌倒、身体不适、身体或肢体受伤等情况。

3 讨论 Discussion

此次研究发现, 轻度认知障碍老年人随着站立姿势难度增加, 前后、内外方向压力中心位移增大、样本熵减小, 认知表现变差。随着站立姿势难度增加, 轻度认知障碍老年人的姿势控制受到干扰。压力中心位移增大, 反映在空间尺度上姿势控制能力降低^[29], 压力中心位移样本熵减小则反映在时间尺度上自动化调整姿势的能力降低^[23, 30]。ROERDINK 等^[31]认为姿势控制受到威胁时, 样本熵减小反映姿势控制所需更多的注意力和更少的自

动化。MANOR 等^[32]使用多尺度熵分析量化 4 种类型(健康、单纯视力障碍、单纯躯体感觉障碍和联合障碍)的老人在安静站立和认知-站立双任务时的压力中心位移复杂度(样本熵),结果表明与单任务相比,双任务均降低 4 组人群压力中心位移的复杂度。姿势控制能力下降可能是由于同时执行空间工作记忆任务减少了维持姿势控制的注意力资源^[33-34]。注意力资源竞争模型认为,姿势控制与认知任务会争夺大脑有限的认知资源,导致双任务情况下的姿势控制表现比姿势控制单任务表现有所下降^[35]。由于姿势控制具有空间成分,空间处理要求的认知任务可能会对其产生更大的干扰^[36]。CHENG 等^[37]研究发现,在姿势改变发生前执行空间记忆任务,年轻人和老年人的认知任务和姿势任务均受影响,说明与空间记忆相关的认知资源同样可用于姿势控制的调控。在此次研究中,从双脚平衡站立到 Romberg 站立,从单任务到双任务,姿势控制难度越来越大,对注意力资源的需求越来越大。当执行复杂的任务时,周围环境和任务的变化导致认知过程的参与度更高,以实现目标导向的运动^[38]。轻度认知障碍老年人将注意力资源分散在 2 个任务之间,同时认知功能衰退,导致姿势控制能力与认知能力均变差。双任务执行能力可以作为老年人跌倒的预测因素,双任务表现越差,跌倒的风险越大^[39]。

此次研究发现两组人群在空间工作记忆单任务认知表现以及双脚平衡站立单任务姿势控制能力方面没有差异,两类老年人都能够轻松地完成。在执行双任务时随着姿势控制难度增加,轻度认知障碍老年人相比于认知正常老年人表现出更大的压力中心位移、更小的压力中心位移样本熵及更差的认知表现,与 MONTERO-ODASSO 等^[40]的研究结果一致。研究证实,老年人认知功能与其静态姿势控制能力呈正相关,认知功能较好者的静态姿势控制能力越好,反之越差^[41]。

轻度认知障碍老年人在执行双任务时前后、内外方向压力中心位移熵值均小于认知正常老年人。熵值是复杂度的度量,身体运动的较低复杂度,表明姿势控制的刚性较高,对环境适应的灵活性较低^[22],姿势控制系统适应性差,不能有效应对环境扰动或感官挑战。压力中心位移熵值小意味着姿势自动调控能力下降,姿势稳定性差^[42]。减少的熵与姿势稳定性降低相结合,表明姿势控制受控且无效;而增加的熵与姿势稳定性提升相结合代表自动化的姿势控制^[8, 43]。COSTA 等^[44]表示,姿势摇摆复杂度降低可以作为一些与年龄相关疾病的标志。身体功能能力强是由于多系统输入调控互相作用形成了一个复杂的网络,可以轻松地适应各种压力。但是随着年龄的增长或患上疾病,网络连接性会减少,导致能力减弱,网络复杂度降低,使身体更容易受到伤害^[45-46]。此次研究中轻度认知障碍

老年人由于存在认知障碍,导致身体姿势控制系统功能下降,姿势控制适应能力变差,与认知正常老年人相比,轻度认知障碍老年人存在着较高的跌倒风险。

此项研究还存在一定的局限性,仅仅收集了足底压力中心及认知行为学数据,缺少肌力、神经生理学等数据,限制了深入全面分析轻度认知障碍老年人姿势控制的中枢到周围调控机制。

结论:与认知正常老年人相比,轻度认知障碍老年人在执行双任务时姿势控制复杂度降低,系统适应性较差,自动调控能力下降,更容易受到空间工作记忆干扰,跌倒风险增大。

作者贡献:张雨馨负责数据统计分析与论文撰写,于聪、丁建军负责实验实施与数据处理,张翠负责数据统计分析和文章校对,陈岩负责实验设计与数据解读。

利益冲突:文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明:这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让:文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范:文章撰写遵守了《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND 声明)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] KNOPMAN DS, PETERSEN RC. Mild cognitive impairment and mild dementia: a clinical perspective. *Mayo Clin Proc.* 2014;89(10):1452-1459.
- [2] 史路平,姚水洪,王薇.中国老年人群轻度认知障碍患病率及发展趋势的 Meta 分析 [J]. *中国全科医学*, 2022,25(1):109-114.
- [3] 袁梓健,郭立燕,张妍,等.中国老年人轻度认知障碍现状及其影响因素 [J]. *济宁医学院学报*, 2022,45(3):183-188.
- [4] HOSOKI S, SACHDEV PS. Molecular biomarkers for vascular cognitive impairment and dementia: the current status and directions for the future. *Neural Regen Res.* 2024;19(12):2579-2580.
- [5] MUIR-HUNTER SW, WITTWER JE. Dual-task testing to predict falls in community-dwelling older adults: a systematic review. *Physiotherapy.* 2016;102(1):29-40.
- [6] TROPP H, ODENRICK P. Postural control in single-limb stance. *J Orthop Res.* 1988;6(6):833-839.
- [7] STURNIEKS DL, ST GEORGE R, LORD SR. Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin.* 2008;38(6):467-478.
- [8] SALIHU AT, HILL KD, JABERZADEH S. Effect of cognitive task complexity on dual task postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Exp Brain Res.* 2022;240(3):703-731.
- [9] WENG WH, YANG YR, YE H NC, et al. Gait performance and prefrontal cortex activation during single and dual task walking in older adults with different cognitive levels. *Front Aging Neurosci.* 2023;15:1177082.

- [10] WINTER DA, PATLA A E, ISHAC M, et al. Motor mechanisms of balance during quiet standing. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(1):49-56.
- [11] HOWE TE, ROCHESTER L, NEIL F, et al. Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011;9(11):CD004963.
- [12] BALDINI A, NOTA A, ASSI V, et al. Intersession reliability of a posturo-stabilometric test, using a force platform. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013; 23(6):1474-1479.
- [13] RUHE A, FEJER R, WALKER B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions--a systematic review of the literature. *Gait Posture.* 2010;32(4):436-445.
- [14] QUATMAN-YATES C, BONNETTE S, GUPTA R, et al. Spatial and temporal analysis center of pressure displacement during adolescence: Clinical implications of developmental changes. *Hum Mov Sci.* 2018;58:148-154.
- [15] 刘鑫玥, 霍洪峰. 认知负荷对人体静态平衡及动态稳定性的影响 [J]. *医用生物力学*, 2021,36(S1):360.
- [16] SONG Q, ZHANG X, MAO M, et al. Relationship of proprioception, cutaneous sensitivity, and muscle strength with the balance control among older adults. *J Sport Health Sci.* 2021;10(5):585-593.
- [17] 齐刘心, 周勉, 王祥宇, 等. 支撑面稳定度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):3897-902.
- [18] LIAO FY, WU CC, WEI Y C, et al. Analysis of Center of Pressure Signals by Using Decision Tree and Empirical Mode Decomposition to Predict Falls among Older Adults. *J Healthc Eng.* 2021;2021:6252445.
- [19] QUIJOUX F, VIENNE-JUMEAU A, BERTIN-HUGAULT F, et al. Center of pressure displacement characteristics differentiate fall risk in older people: A systematic review with meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2020; 62:101117.
- [20] RAMDANI S, TALLON G, BERNARD PL, et al. Recurrence Quantification Analysis of Human Postural Fluctuations in Older Fallers and Non-fallers. *Ann Biomed Eng.* 2013;41(8):1713-1725.
- [21] STANIA M, EMICH-WIDERA E, KAZEK B, et al. Modulation of center-of-pressure signal in children on the autism spectrum: A case-control study. *Gait Posture.* 2023;103:67-72.
- [22] KEDZIOREK J, BLAZKIEWICZ M. Nonlinear Measures to Evaluate Upright Postural Stability: A Systematic Review. *Entropy (Basel).* 2020; 22(12):1357.
- [23] FISCHER OM, MISSEN KJ, TOKUNO CD, et al. Postural threat increases sample entropy of postural control. *Front Neurol.* 2023;14:1179237.
- [24] HANSEN C, WEI Q, SHIEH J S, et al. Sample Entropy, Univariate, and Multivariate Multi-Scale Entropy in Comparison with Classical Postural Sway Parameters in Young Healthy Adults. *Front Hum Neurosci.* 2017; 11:206.
- [25] GEORGIOULIS AD, MORAITI C, RISTANIS S, et al. A novel approach to measure variability in the anterior cruciate ligament deficient knee during walking: the use of the approximate entropy in orthopaedics. *J Clin Monit Comput.* 2006;20(1):11-18.
- [26] BROOKS LR. The suppression of visualization by reading. *Q J Exp Psychol.* 1967;19(4):289-299.
- [27] SHAO Z, LI L, MAO M, et al. Exploring the effects of peripheral sensibility on visuospatial and postural capacities during goal-directed movements in long-term Tai Chi practitioners. *Front Aging Neurosci.* 2022;14:881972.
- [28] PAJALA S, ERA P, KOSKENVUO M, et al. Force platform balance measures as predictors of indoor and outdoor falls in community-dwelling women aged 63-76 years. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2008; 63(2):171-178.
- [29] PAPALIA GF, MANGANO G, DIAZ BALZANI LA, et al. Strabismus and postural control: a systematic review. *Musculoskelet Surg.* 2022;106(4): 345-356.
- [30] CHOU LW, CHANG KM, WEI YC, et al. Empirical Mode Decomposition-Derived Entropy Features Are Beneficial to Distinguish Elderly People with a Falling History on a Force Plate Signal. *Entropy (Basel).* 2021;23(4):472.
- [31] ROERDINK M, HLAVACKOVA P, VUILLERME N. Center-of-pressure regularity as a marker for attentional investment in postural control: a comparison between sitting and standing postures. *Hum Mov Sci.* 2011;30(2):203-212.
- [32] MANOR B, COSTA MD, HU K, et al. Physiological complexity and system adaptability: evidence from postural control dynamics of older adults. *J Appl Physiol (1985).* 2010;109(6):1786-1791.
- [33] BOHLE H, RIMPEL J, SCHAUENBURG G, et al. Behavioral and Neural Correlates of Cognitive-Motor Interference during Multitasking in Young and Old Adults. *Neural Plast.* 2019;2019:9478656.
- [34] MITRA S, VERNON M, BOULTON H. The role of spatial alignment in posture-cognition dual task interaction. *Gait Posture.* 2022;93:54-58.
- [35] 范勇, 吕汇. 认知负荷条件下老年人站姿稳定性及其控制策略策略研究 [J]. *体育科技文献通报*, 2019,27(1):6-9.
- [36] FUHRMAN SI, REDFERN MS, JENNINGS JR, et al. Interference between postural control and spatial vs. non-spatial auditory reaction time tasks in older adults. *J Vestib Res.* 2015;25(2):47-55.
- [37] CHENG KC, PRATT J, MAKI BE. Effects of spatial-memory decay and dual-task interference on perturbation-evoked reach-to-grasp reactions in the absence of online visual feedback. *Hum Mov Sci.* 2013;32(2):328-342.
- [38] RIZZATO A, BENAZZATO M, COGNOLATO M, et al. Different neuromuscular control mechanisms regulate static and dynamic balance: A center-of-pressure analysis in young adults. *Hum Mov Sci.* 2023;90:103120.
- [39] BOISGONTIER M P, BEETS I A, DUYSSENS J, et al. Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: increased recruitment of generic cognitive resources in older adults. *Neurosci Biobehav Rev.* 2013;37(8):1824-1837.
- [40] MONTERO-ODASSO M, MUIR SW, SPEECHLEY M. Dual-task complexity affects gait in people with mild cognitive impairment: the interplay between gait variability, dual tasking, and risk of falls. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(2):293-299.
- [41] 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. *Gerontology.* 2017; 63(1):67-83.
- [42] MANOR B, LIPSITZ LA. Physiologic complexity and aging: implications for physical function and rehabilitation. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 2013;45:287-293.
- [43] DONKER SF, ROERDINK M, GREVEN AJ, et al. Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Exp Brain Res.* 2007;181(1):1-11.
- [44] COSTA M, PRIPLATA AA, LIPSITZ LA, et al. Noise and poise: Enhancement of postural complexity in the elderly with a stochastic-resonance-based therapy. *Europhys Lett.* 2007;77:68008.
- [45] LIPSITZ LA. Dynamics of stability: the physiologic basis of functional health and frailty. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2002;57(3):B115-125.
- [46] PENA M, PETRILLO K, BOSSET M, et al. Brain function complexity during dual-tasking is associated with cognitive impairment and age. *J Neuroimaging.* 2022;32(6):1211-1223.

(责任编辑: WZH, ZN, WL, LCH)