

静态平衡能力对不同任务介入下老年人步行双任务成本的影响

王成龙¹, 聂明剑², 肖辰辉¹, 吴依妮³, 王晶晶¹

¹ 国家体育总局体育科学研究所国民体质与科学健身研究中心, 北京 100061

² 北京体育大学运动人体科学学院, 北京 100091

³ 山西师范大学体育学院, 太原 030031

通信作者: 王晶晶, E-mail: wangjingjing@ciss.cn

【摘要】目的 比较老年人单任务、双任务步态参数特征及不同任务介入下不同平衡能力老年人步行双任务成本的差异。**方法** 2024 年 11—12 月, 基于河北省常态化国民体质监测网络, 在石家庄市和雄安新区多个社区招募老年人为研究对象。应用惯性传感器步态分析设备采集老年人单任务、动作双任务和认知双任务行走时的步态参数, 并计算和比较不同平衡能力组 (以闭眼单脚站立持续时间中位数为界值划分为高/低平衡能力组) 在各任务条件下的步行双任务成本。**结果** 共招募符合纳入与排除标准的老年人 133 名。其中男性 30 人, 女性 103 人; 平均年龄 (66.9±54.75) 岁; 低平衡能力组 (闭眼单脚站立持续时间<18.40 s) 66 人, 高平衡能力组 (闭眼单脚站立持续时间≥18.40 s) 67 人。与单任务时相比, 老年人执行动作双任务时步幅时间、双支撑时间均增加 (P 均<0.05), 步幅、步速和步频均降低 (P 均<0.05); 而执行认知双任务时步幅时间、单支撑时间、双支撑时间和摆动时间均增加 (P 均<0.05), 步幅、步速和步频均降低 (P 均<0.05)。动作双任务介入条件下, 与低平衡能力组比较, 高平衡能力组单支撑时间成本 (0.35% 比 -1.51%, $P=0.019$)、摆动时间成本 (0.33% 比 -1.20%, $P=0.044$) 显著增加, 步频成本显著降低 (-0.85% 比 0.14%, $P=0.042$)。**结论** 与单任务相比, 双任务介入会对老年人步态参数产生一定干扰, 但高平衡能力的老年人可在动作双任务条件下具有更稳定的步态特征, 表现出更强的抗干扰能力。

【关键词】 平衡能力; 步态; 双任务成本; 老年人

【中图分类号】 R87; R592

【文献标志码】 A

【文章编号】 1674-9081(2025)03-0598-08

DOI: 10.12290/xhyxzz.2025-0170

Effect of Static Balance Ability on Dual-Task Costs Under Different Walking Task Interventions in Chinese Older Adults

WANG Chenglong¹, NIE Mingjian², XIAO Chenhui¹, WU Yini³, WANG Jingjing¹

¹ National Physical Fitness and Scientific Exercise Research Center, China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China

² Sport Science School, Beijing Sport University, Beijing 100091, China

³ Physical Education Institute, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031, China

Corresponding author: WANG Jingjing, E-mail: wangjingjing@ciss.cn

【Abstract】Objective To compare gait parameters during single-task and dual-task walking in older adults, and to examine differences in dual-task costs between individuals with high versus low balance abilities

王成龙、聂明剑对本文同等贡献

基金项目: 国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费 (基本 24-57)

引用本文: 王成龙, 聂明剑, 肖辰辉, 等. 静态平衡能力对不同任务介入下老年人步行双任务成本的影响 [J]. 协和医学杂志, 2025, 16 (3): 598-605. doi: 10.12290/xhyxzz.2025-0170.

under different task conditions. **Methods** From November to December 2024, community-dwelling older adults were recruited through Hebei Province's national physical fitness monitoring network across multiple communities in Shijiazhuang and Xiong'an New Area. An inertial sensor-based gait analysis system was used to collect spatio-temporal gait parameters during three conditions: single-task walking, motor dual-task walking (simultaneous carrying task), and cognitive dual-task walking (serial subtraction task). Participants were stratified into high-balance and low-balance groups based on median eyes-closed single-leg stance duration (cut-off: 18.40 seconds). Dual-task costs (DTC) were calculated and compared between groups. **Results** The study included 133 eligible participants [30 male, 103 female; mean age (66.95±4.75) years]. The low-balance group 66 participants, and the high-balance group 67 participants. Compared to single-task walking, motor dual-task conditions significantly increased stride time and double support phase duration (all $P<0.05$), while decreasing stride length, gait velocity, and cadence (all $P<0.05$). Cognitive dual-task conditions prolonged all temporal parameters (stride time, single/double support, swing time; all $P<0.05$) and reduced spatial parameters (stride length, velocity, cadence; all $P<0.05$). Under the dual-task intervention condition, compared to the low-balance group, the high-balance group exhibited an increase in single support time cost (0.35% vs. -1.51%, $P=0.019$) and swing time cost (0.33% vs. -1.20%, $P=0.044$), along with a reduction in stride frequency cost (-0.85% vs. 0.14%, $P=0.042$). **Conclusions** While dual-task conditions generally impair gait parameters in older adults, individuals with higher balance abilities maintain more stable gait patterns during motor dual-tasks, demonstrating greater resilience to interference. These findings highlight the importance of balance capacity in preserving functional mobility during daily multitasking activities.

【Key words】 balance ability; gait; dual-task costs; older adult

Funding: Fundamental Research Fund of China Institute of Sport Science (Basic 24-57)

Med J PUMCH, 2025,16(3):598-605

步行 (Walking) 作为人类维持日常生活活动的基本运动能力^[1],是由中枢神经系统调控下肢多环节协同运动移行机体的一种复杂随意行为,在拓宽老年人生活空间、改善身心健康、保障晚年生活质量等方面具有重要意义。步态 (gait) 作为步行过程中人体系统与周围环境交互作用的外显特征,在动态系统理论中被视为一种稳定的行为模式^[2],用于揭示其规律的步态参数,有效反映了老年人群的功能状况,与跌倒事件、认知功能下降、心血管疾病风险和全因死亡等多种不良健康结局密切相关^[3]。

双任务步行 (dual-task walking, DTW) 是指在进行主要步行任务的同时完成认知或动作次级任务。DTW 模拟了日常生活中行走时的多任务处理场景,是一种常见的步态研究范式,可反映在同时执行两种任务时次级任务对主要任务注意力资源的占用情况。双任务成本 (dual-task costs, DTC) 分析可对双任务的干扰幅度进行量化,以解析相较于单任务步行 (single-task walking, STW) 时个体步态特征的变化情况^[4]。DTW 需个体在两种任务之间实现注意力和执行功能的快速分配与转换,呈现出与 STW 状态下不同的步态特征^[5];同时,次级任务介入也会对步

态稳定性和 DTC 产生影响^[6]。因此,探究不同任务介入下的 DTW 步态特征为理解步态稳定性和姿势控制机制提供了新视角。

平衡能力是影响步态稳定性的核心要素,在人 60 岁后会出现快速衰退,极大增加了老年人跌倒、骨折等意外事件的发生风险^[7]。2023 年世界卫生组织在发布的《成年人身体活动测量与监测:范围界定和规划会议报告》中强调,平衡能力不足会限制老年人活动能力、增加跌倒风险,严重影响晚年生活质量,应将其纳入常规测量和评估中^[8]。Araujo 等^[9]开展的队列研究表明,51~75 岁年龄段人群中无法完成 10 s 闭眼单脚站立组全因死亡率是完成组的 1.84 倍。尽管平衡能力对老年人健康状况和功能状态的重要影响已得到证实,但其在 DTW 中的调控作用相关研究仍相对空白,尚未检索到有文献阐明老年人的静态平衡能力是否在次级任务干扰步态时具有调节效应。因此,本研究对比老年人 STW 与 DTW 时的步态参数差异,并探讨双任务条件下不同平衡能力老年人 DTC 的差异,旨在验证静态平衡能力在老年人 DTW 时维持其动态稳定性的潜在功能价值,并为健康促进视角下老年人运动能力衰退预

防提供实证支撑。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2024 年 11—12 月，基于河北省常态化国民体质监测网络，采用便利抽样法在石家庄市和雄安新区多个社区招募老年人作为研究对象。纳入标准：(1) 年龄 ≥ 60 岁；(2) 无需辅助工具，能够独立行走；(3) 无精神障碍、分裂症等精神类疾病；(4) 无严重的心肺疾病、骨关节疾病及运动障碍；(5) 自愿参与本研究。排除标准：(1) 由于疾病、外伤、手术等原因引起双下肢明显不对称者；(2) 存在明显的认知障碍、视觉或听力障碍，无法进行正常交流和测试者；(3) 存在影响步态的其他健康状况，及其他情况无法配合完成测试内容者。

本研究已通过国家体育总局体育科学研究所科技伦理审查委员会审批（审批号：CISSLA-20241111），所有参与者均签署知情同意书。

1.2 研究方法

采用自编问卷，由通过培训的调查人员进行面对面问卷调查，收集研究对象社会人口学特征（年龄、性别、身高、体重、婚姻、教育程度等情况）、生活习惯、疾病及用药情况。同时，对研究对象进行静态平衡能力测试和步态参数测定。

1.2.1 静态平衡能力测试

采用闭眼单脚站立测试仪（健民，GMCS-DJZL3，中国）测试研究对象闭眼单脚站立的维持时间。闭眼单脚站立是国际上常用的评估个体静态平衡能力的方法，也是我国国民体质测试的重要内容，可反映人体在无视觉辅助的情况下，依靠前庭功能、本体感觉和姿势控制对身体平衡的调整能力^[10]。测试时要求研究对象双脚踏于传感踏板上，习惯支撑脚位于中间，非支撑脚位于侧边，准备就绪后闭眼并抬起非支撑脚，保持支撑脚单脚站立。当研究对象支撑脚发生移动或非支撑脚落地时，记录闭眼单脚站立持续时间。用时越长表明保持静态平衡的能力越好。测试 2 次，取高值作为测试结果。以闭眼单脚站立持续时间的中位数为界值，将研究对象分为 2 组：等于及高于中位数者为高平衡能力组，低于中位数者为低平衡能力组。

1.2.2 步态参数测定

(1) 测量仪器：惯性传感器在步态分析中应用较为广泛^[11-12]。本研究采用多惯性传感器可穿戴式

步态分析设备 Xsens DOT（Xsens 公司，荷兰）进行 STW 和不同双重任务条件下步行时步态参数原始数据的采集。该测量设备由三轴陀螺仪、三轴加速度传感器和磁力计组成，采集频率为 120 Hz，需佩戴于 L₃~L₅ 椎体之间，具有高精度、尺寸小，易于穿戴特点，其重测信度已得到验证^[13]。

(2) 测试流程：本研究 STW 的执行方式为研究对象在常速行走状态下直线行走 20 m，无其他附加条件或动作；动作双任务步行（motion dual-task walking，MDTW）的执行方式为研究对象使用惯侧手持装有 300 mL 水（容量为 350 mL）的塑料烧杯在常速行走状态下直线行走 20 m；认知双任务步行（cognitive dual-task walking，CDTW）为研究对象在行走时听到一个随机的三位数，并在 20 m 行走过程中进行该三位数连续减 3 的计算。

在安静明亮平坦的道路上指导研究对象进行步态测试，正式开始前测试人员告知研究对象如何进行单任务和双任务行走，并要求研究对象在行走过程中按照习惯性步态行走，确保准确理解测试内容。研究对象听从测试人员指令按照单任务、动作双任务和认知双任务的顺序依次完成步行测试，行走过程中若出现设备不慎脱落、步行间断等状况，需重新进行测试。测试完成后，通过 Xsens Dot Data Exporter 软件提取相关数据。

1.2.3 数据处理与分析指标

采用 JupyterLab v4.2.5 软件对测试数据进行预处理。由于步态分析设备启动后即刻开始产生数据，测试过程中可能会采集到步行开始前等待指令时期以及步行结束后结果记录时期的数据，而在步态参数计算时，此两部分数据会对中间稳定的步态周期数据产生干扰，因此对每一条测试数据指令时期和行走结束后进行截断预处理，以保证测试数据与行走周期的一致性。预处理完成后，将数据文件导入至 PyCharm v2024.1 软件中进行原始数据识别与计算，以获得初始的时间-空间步态参数。考虑步态周期包括支撑期（stance phase）和摆动期（swing phase）（图 1），纳入分析的指标包含 2 个阶段共 7 个时间-空间步态参数，包括：(1) 步幅时间：单侧脚脚跟着地（初次着地）至该侧脚脚跟再次着地的时间；(2) 单支撑时间：支撑阶段，单侧脚脚趾离地至该侧脚脚跟再次着地的时间；(3) 双支撑时间（初始双支撑时间和终末双支撑时间）：1 个步态周期当中，单侧脚与对侧脚同时接触地面的总时间，即单侧脚脚跟着地至对侧脚脚趾离地的时间（初始双支撑时间）与对侧脚

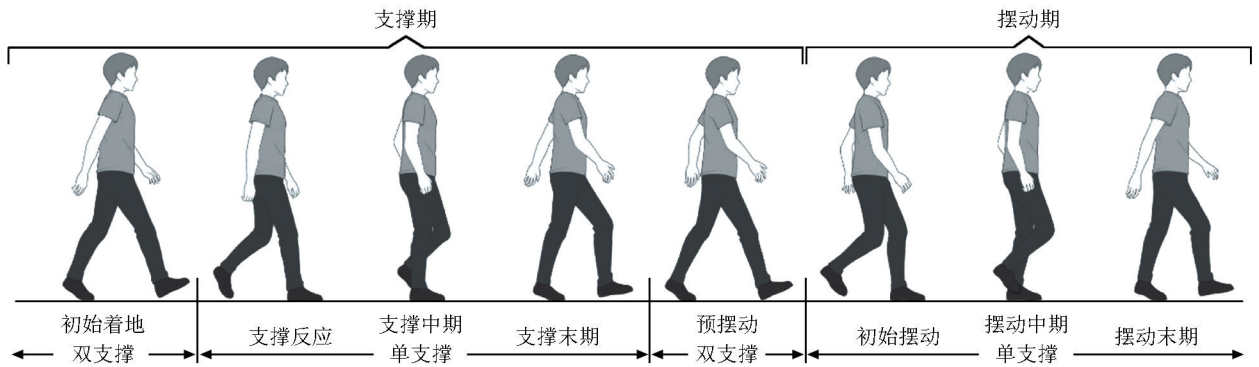


图 1 步态周期划分示意图
Fig. 1 Schematic diagram of gait cycle phases

脚跟着地至单侧脚跟离地的时间（终末双支撑时间）；（4）摆动时间：摆动阶段，一只脚脚趾离地至该脚跟再次着地的时间；（5）步幅：单侧脚跟着地（初次着地）至该侧脚跟再次着地时行走的距离；（6）步速：步幅与步幅时间的比值；（7）步频：每分钟行走的步数，计算方法是每分钟总步数除以 60 s。

采用 DTC 衡量次级任务对主要运动任务的影响程度，即单任务到双任务的步态参数变化值（%）^[14]。具体计算公式为：

$$DTC = \left(\frac{\text{双任务行走步态参数} - \text{单任务行走步态参数}}{\text{单任务行走步态参数}} \right) \times 100\%$$

计算结果为正值表明在双任务条件下，该步态参数较单任务条件下增加；结果为负值表明在双任务条件下，该步态参数较单任务条件下降低^[15]。

1.3 样本量估算

采用 G * Power 软件进行样本量估算。参照既往研究^[16]，设置最低效应值为 0.50，检验效能（1-β）为 80%，检验水准 α 为 0.05，经计算低平衡能力组和高平衡能力组所需最小样本量均为 64，总样本量为 128。考虑到可能存在一定数量的数据采集不合格，故拟在此基础上适当增加样本量。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 27.0 软件进行统计学分析。计量资料采用 Kolmogorov-Smirnov 检验评估是否符合正态分布，符合正态分布的计量资料（如年龄、身高、体重、步态参数等）以均数±标准差表示，组间比较采用独立样本 t 检验或配对 t 检验；不符合正态分布的计量资料（如步幅时间成本、单支撑时间成本、双支撑时间成本等）以中位数（四分位数）表示，组间比

较采用 Mann-Whitney U 检验；计数资料以频数（百分数）表示，组间比较采用卡方检验。以 P<0.05 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般临床资料

共招募符合纳入与排除标准的老年人 133 名。其中男性 30 人，女性 103 人；平均年龄（66.95 ± 4.75）岁（范围：60~77 岁）；平均身高、体重及体质指数（body mass index, BMI）分别为（160.05 ± 7.11）cm、（65.68 ± 9.65）kg、（25.62 ± 3.21）kg/m²。

闭眼单脚站立持续时间中位数为 18.40（8.25, 32.15）s。低平衡能力组（闭眼单脚站立持续时间 < 18.40 s）66 人，高平衡能力组（闭眼单脚站立持续时间 ≥ 18.40 s）67 人。两组年龄、性别、身高等一般资料均无统计学差异（P 均 > 0.05），见表 1。

表 1 低平衡能力组与高平衡能力组老年人一般资料比较
Tab. 1 Comparison of general characteristics between low balance ability group and high balance ability group of older adults

变量	低平衡能力组 (n = 66)	高平衡能力组 (n = 67)	P 值
性别 [n (%)]			0.715
男	14 (21.2)	16 (23.9)	
女	52 (78.8)	51 (76.1)	
年龄 (x̄ ± s, 岁)	66.39 ± 4.53	67.49 ± 4.92	0.183
身高 (x̄ ± s, cm)	160.17 ± 6.63	159.94 ± 7.60	0.851
体重 (x̄ ± s, kg)	65.64 ± 9.19	65.72 ± 0.14	0.962
BMI (x̄ ± s, kg/m ²)	25.54 ± 2.81	25.70 ± 3.58	0.782

BMI (body mass index): 体质质量指数

2.2 老年人单任务和双任务步行时步态参数特征比较

与单任务相比，老年人执行双任务时表现出更为谨慎的步态特征。动作任务介入时，步幅时间、双支撑时间均增加（ P 均 <0.05 ），步幅、步速和步频均降低（ P 均 <0.05 ），单支撑时间和摆动时间的变化无统计学意义（ P 均 >0.05 ）；认知任务介入时，步幅时间、单支撑时间、双支撑时间和摆动时间均增加（ P 均 <0.05 ），步幅、步速和步频均降低（ P 均 <0.05 ），见表 2。

2.3 不同平衡能力水平老年人双任务成本差异性比较

对不同静态平衡能力老年人的动作 DTC 进行比较后发现，与低平衡能力组比较，高低平衡能力组单支撑时间成本、摆动时间成本增加，步频成本降低，差异具有统计学意义（ P 均 <0.05 ）；双支撑时间成本、步幅成本和步速成本的差异无统计学意义（ P 均 >0.05 ）。对不同静态平衡能力老年人的认知 DTC 进行比较后发现，各参数组间差异均无统计学意义（ P 均 >0.05 ），见表 3。

3 讨论

本研究通过时间-空间步态参数分析，揭示了老年人单、双任务下的步态参数特征及静态平衡能力对

表 2 单任务与不同介入下双任务步行时的时间-空间步态参数比较（ $\bar{x}\pm s$ ）

Tab. 2 Comparison of spatio-temporal gait parameters during single-task and dual-task walking under different interventions ($\bar{x}\pm s$)

步态参数	STW	DTW	
		MDTW	CDTW
步幅时间（s）	0.98±0.06	1.00±0.07 *	1.02±0.08 *
单支撑时间（s）	0.35±0.02	0.35±0.02	0.36±0.03 *
双支撑时间（s）	0.28±0.03	0.29±0.03 *	0.29±0.04 *
摆动时间（s）	0.35±0.02	0.35±0.02	0.36±0.03 *
步幅（m）	1.29±0.12	1.20±0.15 *	1.25±0.12 *
步速（m/s）	1.31±0.12	1.21±0.19 *	1.24±0.16 *
步频（步/min）	122.91±7.99	121.48±9.03 *	119.23±9.11 *

STW（single-task walking）：单任务步行；DTW（dual-task walking）：双任务步行；MDTW（motion dual-task walking）：动作双任务步行；CDTW（cognitive dual-task walking）：认知双任务步行；与 STW 比较，* $P<0.05$

老年人步行 DTC 的差异化影响。结果发现，与单任务时步态特征相比，认知双任务介入可导致支撑时间和摆动时间延长，证实了注意力资源竞争对步态动态稳定性的干扰效应。当动作任务介入条件下，高平衡能力组老年人在面对姿势稳定性需求更高的次级任务介入时表现出更好的动态稳定控制能力，低平衡能力

表 3 不同平衡能力老年人动作 DTC 和认知 DTC 差异

Tab. 3 Differences in motor DTC and cognitive DTC among older adults with high/low balance abilities

DTC	低平衡能力组（ $n=66$ ）	高平衡能力组（ $n=67$ ）	Z/t	P 值
动作 DTC				
步幅时间成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	0.00 (-5.31, -0.56)	0.71 (-0.43, 2.81)	-1.92	0.055
单支撑时间成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	-1.51 (-2.03, 2.22)	0.35 (-1.59, 2.27)	-2.35	0.019
双支撑时间成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	2.14 (-3.10, 0.62)	4.59 (-0.07, 8.97)	-1.41	0.157
摆动时间成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	-1.20 (-0.23, 6.01)	0.33 (-1.79, 2.22)	-2.01	0.044
步幅成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	-5.87 (-2.63, 0.62)	-4.52 (-10.44, -0.93)	-0.89	0.373
步速成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	-5.32 (-10.81, -2.19)	-5.70 (-13.95, -0.71)	-0.04	0.970
步频成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	0.14 (-12.74, -1.82)	-0.85 (-2.75, 0.52)	-2.03	0.042
认知 DTC				
步幅时间成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	2.36 (0.59, 5.77)	2.17 (1.06, 6.60)	-0.78	0.435
单支撑时间成本 ($\bar{x}\pm s, \%$)	0.36±0.02	0.37±0.03	-0.98	0.330
双支撑时间成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	2.55 (0.24, 6.34)	4.76 (-0.13, 9.43)	-0.94	0.347
摆动时间成本 ($\bar{x}\pm s, \%$)	0.36±0.02	0.37±0.03	-0.89	0.373
步幅成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	-1.47 (-5.46, 1.60)	-2.69 (-6.62, 0.61)	-1.63	0.104
步速成本 ($\bar{x}\pm s, \%$)	1.28±0.15	1.19±0.17	1.77	0.079
步频成本 [$M(P_{25}, P_{75}), \%$]	-2.17 (-5.31, -0.56)	-2.14 (-6.27, -1.00)	-0.74	0.455

DTC（dual-task costs）：双任务成本

组老年人则通过牺牲稳定性以维持任务的完成性和连续性。本研究结果从姿势稳定性调控方面验证了良好的静态平衡能力对动作双任务的抗干扰作用。

行走是人类特有的直立性动作,而行走过程中的步态周期与昼夜节律、心脏节律、呼吸节律等生理节律相似,其是支撑和摆动姿势在控制系统下的循环过程,也有研究将其认为是姿势稳定性在时间序列上的波动构成了姿势控制系统相关的生理节律^[2]。姿势控制强调感觉系统与运动系统之间的相互作用,因此,姿势稳定性可通过个体对强加于身体内外干扰的耐受性进行测量。本研究对不同任务条件下的步态参数特征进行分析后发现,老年人在MDTW时,步幅时间和双支撑时间均显著增加,步幅、步速和步频均显著下降;CDTW时,步幅时间、单支撑时间、双支撑时间和摆动时间均显著增加,步幅、步速和步频亦显著下降,这与既往研究结果相符^[5,17-18],表明双任务会对机体产生干扰效应,继而影响双任务的执行表现^[19]。Sweller^[20]于1988年提出了认知负荷理论(cognitive load theory),该理论认为如果执行任务所需的注意力总和达到或超过自身储备的注意力资源时,会有一个或多个任务的执行表现出现下降。完成DTW需个体具有足够的注意力资源,然而随着年龄增长,老年人注意力资源及注意力分配能力逐渐下降,动作任务和认知任务介入占用了原本用于步行的注意力,此时老年人可能需要采取更为谨慎的步态策略,通过增加支撑时间、降低步速和步频提高机体稳定性,以应对额外任务的干扰。

闭眼单脚站立是评估静态平衡能力的良好指标,闭眼单脚站立由于剥夺了视觉对维持平衡的辅助作用,更考验机体膝、踝关节的稳定性、关节周围协同肌的调整能力及对位置的感知觉。DTC用于评价惯常步态的外加负荷,可直观衡量次要任务介入后对步态参数的干扰幅度。本研究通过对比高平衡能力组和低平衡能力组在不同双任务条件介入下的步态参数变化,旨在探索平衡能力对双任务成本的影响。结果发现,在动作任务介入时,不同静态平衡能力老年人呈现出的动态稳定性及抗干扰能力存在组间差异,其中,低平衡能力组单支撑时间成本下降1.51%,摆动时间成本下降1.20%,步频成本增加0.14%;高平衡能力组单支撑时间和摆动时间成本分别增加0.35%和0.33%,步频成本下降0.85%。单支撑时间和摆动时间对应了步态周期中的单支撑期,该阶段依靠单脚作为支撑和稳定的基础,另一只脚处于摆动状态,因此该阶段对于保证平衡和稳定性至关重要,单支撑时

间和摆动时间越长表示动态平衡和姿势稳定性越佳。低平衡能力组在受到动作任务干扰时单支撑时间和摆动时间减少,步频加快,表明该部分老年人在面对额外任务时需更多的注意资源分配于维持动作稳定,继而可能会通过采取牺牲步态稳定性的策略以维持MDTW的连续性;而高平衡能力组受到干扰时则允许更多的注意力资源分配于姿势控制的同时并保证步态的稳定,其支撑时间和摆动时间延长,步频降低,表现出最佳的抗干扰能力及动态稳定性^[21]。

相较于动作双任务,认知双任务对不同平衡能力组别老年人步态参数的干扰幅度呈现出一致的趋势,组间差异不具有统计学意义。工作记忆和认知灵活性涉大脑皮质-皮质下系统,包括背外侧前额叶皮质、背内侧前额叶皮质^[22]和前岛叶等^[23],静态平衡能力则依赖于小脑、前庭系统和脊髓反射。因此,平衡能力可能并未对老年人接受认知任务介入时起到调节作用。除此之外,根据双任务的执行控制交互作用理论^[24],在面对双任务的协调控制过程中,个体会根据不同的场景及任务对自身的挑战性通过任务优先级排序,选择不同的优先策略。Williams^[25]认为,同时发生信息的重要性和相关性是由“最小化危险和最大化愉悦”的核心动机所决定,因此,需要数学技能的任务虽然对注意力资源要求较高,但同时可能引起部分老年人产生过度压力和焦虑情绪,从而在步行和执行认知任务时优先采用“姿势优先”策略^[26],确保其优先完成步行任务而非认知任务。

本研究存在一定局限性:(1)未对影响步态稳定性的动力学和运动学参数进行探索;(2)试验过程虽然尽可能模拟日常生活场景,但与真实世界仍存在一定差异,可能影响双任务的干扰效应。未来可纳入更多的步态参数开展深入研究,例如设计干预性试验,并采用随机对照试验验证平衡训练对改善老年人双任务步态稳定性的有效性。

综上所述,与单任务行走相比,双任务介入会对老年人步态特征产生干扰。动作双任务介入时,高静态平衡能力组老年人在面对动作稳定性需求更高的次级任务介入时表现出更好的动态稳定控制能力,低平衡能力组老年人则通过牺牲步态的稳定性以维持任务的完成性和连续性,继而从姿势稳定性调控方面揭示了良好的静态平衡能力对动作双任务的抗干扰作用。

作者贡献:王成龙负责研究设计、数据分析和论文撰写;聂明剑负责算法构建、数据预处理、原始数据识别与计算;肖辰辉负责数据收集与整理;吴依妮负责

数据预处理、制图；王晶晶负责研究设计、论文修订、质量控制及监督。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 刘静, 徐纯鑫, 陆洋阳, 等. 青少年特发性脊柱侧凸患者步态参数、肌肉参数与影像学的相关性 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29 (21): 4477-4485.
Liu J, Xu C X, Lu Y Y, et al. Correlation of gait parameters and muscle parameters with imaging in adolescent idiopathic scoliosis patients [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2025, 29 (21): 4477-4485.
- [2] 李立, 文栩, 傅维杰. 运动中动态系统视角下的变异性及稳定性 [J]. 天津体育学院学报, 2014, 29 (2): 105-107.
Li L, Wen J, Fu W J. Variability and stability of dynamic system applied to movement evaluation [J]. J Tianjin Univ Sport, 2014, 29 (2): 105-107.
- [3] 王成龙, 李明哲, 聂明剑, 等. 老年人时间-空间步态特征和不良健康结局风险 [J]. 中国组织工程研究, 2024, 28 (34): 5565-5570.
Wang C L, Li M Z, Nie M J, et al. Spatio-temporal gait characteristics of the elderly and the risk of adverse health outcomes [J]. Chin J Tissue Eng Res, 2024, 28 (34): 5565-5570.
- [4] Fallahtafti F, Boron J B, Venema D M, et al. Task specificity impacts dual-task interference in older adults [J]. Aging Clin Exp Res, 2021, 33 (3): 581-587.
- [5] 曹传宝, 马刚, 马敏卿, 等. 认知与动作任务介入对人体下楼梯姿势控制和身体动态稳定性的影响 [J]. 中国运动医学杂志, 2023, 42 (3): 184-190.
Cao C B, Ma G, Ma M Q, et al. Effects of cognitive task and motion task interventions on postural control and dynamic stability when walking downstairs [J]. Chin J Sports Med, 2023, 42 (3): 184-190.
- [6] 刘鑫玥, 霍洪峰. 不同任务介入对青年行走动态稳定性及双任务成本的影响 [J]. 医用生物力学, 2022, 37 (5): 851-856.
Liu X Y, Huo H F. Effects of different task interventions on dynamic stability and dual task cost of young adults during walking [J]. J Med Biomech, 2022, 37 (5): 851-856.
- [7] Western M J, Malkowski O S. Associations of the short physical performance battery (SPPB) with adverse health outcomes in older adults: a 14-year follow-up from the English longitudinal study of ageing (ELSA) [J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19 (23): 16319.
- [8] Wei F X, Hu Z Q, He R Y, et al. Effects of balance training on balance and fall efficacy in patients with osteoporosis: a systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis [J]. J Rehabil Med, 2023, 55: jrm00390.
- [9] Araujo C G, De Souza E Silva C G, Laukkanen J A, et al. Successful 10-second one-legged stance performance predicts survival in middle-aged and older individuals [J]. Br J Sports Med, 2022, 56 (17): 975-980.
- [10] 张频, 邹子璇, 邹婷婷, 等. 健康老年人闭眼单脚站立测评的 Meta 分析 [J]. 中国老年学杂志, 2023, 43 (10): 2401-2406.
Zhang P, Zou Z X, Zou T T, et al. Meta-analysis of evaluation of standing on one foot with closed eyes in healthy elderly [J]. Chin J Gerontol, 2023, 43 (10): 2401-2406.
- [11] 李洋, 汪柳萍, 黄进, 等. 人机交互技术在神经系统疾病辅助诊断中的应用: 现状与前景 [J]. 协和医学杂志, 2021, 12 (5): 608-613.
Li Y, Wang L P, Huang J, et al. Application of human-computer interaction technology in ancillary diagnosis of nervous system diseases: current situation and prospect [J]. Med J PUMCH, 2021, 12 (5): 608-613.
- [12] 葛颖, 赵沃娃, 刘颖. 帕金森病冻结步态评估研究进展 [J]. 协和医学杂志, 2024, 15 (3): 642-648.
Ge Y, Zhao W W, Liu Y. Advances in the evaluation of freezing of gait in Parkinson's disease [J]. Med J PUMCH, 2024, 15 (3): 642-648.
- [13] 冯雨果, 张丁午, 刘玲玥, 等. Xsens 惯性传感器系统在步态分析中的重测信度研究 [J]. 皮革科学与工程, 2024, 34 (5): 81-85.
Feng Y G, Zhang D W, Liu L Y, et al. Repeatability of gait parameters in healthy adults based on Xsens inertial sensor system [J]. Leather Sci Eng, 2024, 34 (5): 81-85.
- [14] Zhou J H, Cattaneo G, Yu W T, et al. The age-related contribution of cognitive function to dual-task gait in middle-aged adults in Spain: observations from a population-based study [J]. Lancet Healthy Longev, 2023, 4 (3): e98-e106.
- [15] 徐忠梅, 于卫华. 老年 2 型糖尿病患者双重任务行走跨步时间变异性水平及其影响因素分析 [J]. 中国护理管理, 2018, 18 (7): 898-903.

- Xu Z M, Yu W H. The level and influencing factors of stride time variability under dual task walking among elderly patients with type 2 diabetes [J]. Chin Nurs Manag, 2018, 18 (7): 898-903.
- [16] Tiernan C, Schwarz D, Goldberg A. Dual-task cost of the Enhanced Gait Variability Index in community-dwelling older adults [J]. Gait Posture, 2022, 98: 237-239.
- [17] Lara K E A, Linares J C C, Montilla J A P, et al. Factors influencing gait performance in older adults in a dual-task paradigm [J]. Geroscience, 2024, 46 (3): 3071-3083.
- [18] Smith E, Cusack T, Cunningham C, et al. The influence of a cognitive dual task on the gait parameters of healthy older adults: a systematic review and meta-analysis [J]. J Aging Phys Act, 2017, 25 (4): 671-686.
- [19] 王岑依, 梁计陵, 王国栋, 等. 基于 MLP 神经网络算法分析双任务下老年肌少症人群步态姿势特征 [J]. 中国体育科技, 2024, 60 (5): 50-57.
- Wang C Y, Liang J L, Wang G D, et al. Analysis of gait posture characteristics of people with sarcopenia under dual-task based on MLP neural network algorithm [J]. China Sport Sci Technol, 2024, 60 (5): 50-57.
- [20] Sweller J. Cognitive load during problem solving: effects on learning [J]. Cogn Sci, 1988, 12 (2): 257-285.
- [21] 王海静, 李庆雯. 双任务训练治疗脑卒中患者平衡障碍的研究进展 [J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25 (9): 1026-1031.
- Wang H J, Li Q W. Advances in dual-task training for balance dysfunction after stroke (review) [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25 (9): 1026-1031.
- [22] Baek C Y, Kim H D, Yoo D Y, et al. Change in activity patterns in the prefrontal cortex in different phases during the dual-task walking in older adults [J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20 (1): 86.
- [23] Lee B, Cai W D, Young C B, et al. Latent brain state dynamics and cognitive flexibility in older adults [J]. Prog Neurobiol, 2022, 208: 102180.
- [24] McCulloch K. Attention and dual-task conditions: physical therapy implications for individuals with acquired brain injury [J]. J Neurol Phys Ther, 2007, 31 (3): 104-118.
- [25] Williams L M. An integrative neuroscience model of “significance” processing [J]. J Integr Neurosci, 2006, 5 (1): 1-47.
- [26] Yogev-Seligmann G, Hausdorff J M, Giladi N. The role of executive function and attention in gait [J]. Mov Disord, 2008, 23 (3): 329-342.
- (收稿: 2025-03-01 录用: 2025-04-09)
(本文编辑: 董 哲)