

论 著

基于认知运动协同的双任务训练联合经颅直流电刺激改善老年脑卒中偏瘫患者姿势控制*

陈茜茹 杨 杨 肖仔仙 丁 浩 何秉恒 程单单 李 艳 茅慧雯**

上海市同仁医院, 上海 200335

[摘要] **目的** 基于认知运动协同回路探讨双任务训练联合经颅直流电刺激 (tDCS) 对脑卒中偏瘫患者姿势控制与认知功能的影响。**方法** 选取 2023 年 8 月—2025 年 1 月上海市同仁医院收治的 40 例老年脑卒中患者作为研究对象。采用评估者盲法随机对照试验, 按照随机数字表法将患者分为试验组与对照组, 各 20 例。试验组接受 20 min 认知运动双任务训练联合 tDCS+20 min 常规训练; 对照组接受 20 min 增强姿势训练联合 tDCS + 20 min 常规训练, 两组均干预 4 周 (5 次/周)。采用蒙特利尔认知评估量表 (MoCA)、多方向伸展测试 (MDRT)、计时起立行走测试 (TUGT)、Fugl-Meyer 下肢功能评分 (FMA-LE)、简单反应时 (SRT) 及三维步态分析评估干预效果。**结果** 治疗前, 两组 MoCA 评分以及两组 MDRT 向前、向后、向左、向右最大伸展距离分别比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$); 治疗后, 试验组 MoCA 评分高于对照组, MDRT 向后、向左方向最大伸展距离长于对照组, 差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗前, 两组 FMA-LE、TUGT 比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$); 治疗后, 试验组 FMA-LE 评分高于对照组 ($P<0.05$), 但两组 TUGT 时间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。治疗前, 两组步态分析相关参数比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$); 治疗后, 试验组右侧步长、步频、步速均高于对照组 ($P<0.05$), 但两组左侧步长、步幅比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。治疗前, 两组 SRT 比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$); 治疗后, 试验组 SRT 短于对照组 ($P<0.05$)。**结论** 在常规训练基础上, 认知运动双任务训练联合 tDCS 可改善脑卒中偏瘫患者的认知功能与动态平衡能力, 增强复杂情境下的动态姿势控制效能。

[关键词] 脑卒中; 双任务训练; 经颅直流电刺激; 动态姿势控制; 认知功能

doi: 10.3969/j.issn.1674-7593.2025.06.002

Dual-task training combined with transcranial direct current stimulation improves postural control in stroke patients with hemiplegia based on the cognitive-motor synergy loop

Chen Qianru, Yang Yang, Xiao Zixian, Ding Hao, He Bingheng, Cheng Dandan, Li Yan, Mao Huiwen**

Shanghai Tongren Hospital, Shanghai 200335

** Corresponding author; Mao Huiwen, email: 3340562044@qq.com

[Abstract] **Objective** To explore the impact of dual-task training combined with transcranial direct current stimulation (tDCS) on postural control and cognitive function in stroke patients with hemiplegia. **Methods** From August 2023 to January 2025, a total of 40 elderly stroke patients admitted to Shanghai Tongren Hospital were selected as the study subjects. A randomized controlled trial with assessor blinding was conducted, dividing the patients into an experimental group and a control group, with 20 patients in each group. The experimental group received 20 minutes of cognitive-motor dual-task training combined with tDCS plus 20 minutes of conventional training, while the control group received 20 minutes of enhanced postural training combined with tDCS plus 20 minutes of conventional training. The intervention was conducted 5 times per week and lasted for 4 weeks. The effects of the intervention were assessed using the Montreal cognitive assessment (MoCA), multi-directional reach test (MDRT), timed up and go test (TUGT), Fugl-Meyer assessment for lower extremity (FMA-LE), simple reaction time (SRT) and gait analysis. **Results** Before treatment, there

收稿日期: 2025-02-18 修回日期: 2025-04-15 录用日期: 2025-04-16

* 国家自然科学基金资助项目 (82202794)

** 通信作者: 茅慧雯, 电子邮箱 3340562044@qq.com

was no significant difference in MoCA scores and the maximum extension distance of MDRT in the forward, backward, left and right directions between the two groups ($P>0.05$); After treatment, the experimental group had higher MoCA scores than the control group, and their maximum extension distance of MDRT in the backward and left directions were longer than those of the control group, with all differences being statistically significant ($P<0.05$). Before treatment, there was no significant difference in FMA-LE and TUGT between the two groups ($P>0.05$); After treatment, FMA-LE in the experimental group was higher than that in the control group ($P<0.05$), but there was no significant difference in TUGT between the two groups ($P>0.05$). Before treatment, there was no significant difference in the parameters of gait analysis between the two groups ($P>0.05$); After treatment, right-side step length, cadence and velocity in the experimental group were higher than those in the control group ($P<0.05$), whereas differences in left-side step length and stride length were not statistically significant ($P>0.05$). Before treatment, comparisons of SRT between the two groups showed no statistically significant differences ($P>0.05$); After treatment, the SRT in the experimental group was shorter than that in the control group ($P<0.05$). **Conclusion** Based on the conventional training, cognitive-motor dual-task training combined with tDCS can improve postural control and executive function in stroke patients.

[**Key words**] Stroke; Dual-task training; Transcranial direct current stimulation; Postural control; Cognitive function

脑卒中是全球第三大死因、我国首位死亡原因及主要致残因素,约 75% 的幸存者会存在不同程度的运动、平衡、感觉和认知障碍,出现偏瘫步态、姿势控制异常,增加跌倒风险,严重影响患者生活质量^[1-3]。姿势控制是将躯体感觉、前庭觉和视觉在中枢整合形成精准的神经肌肉运动,以维持身体定向和稳定的复杂过程,主要包括预期性姿势调节和补偿性姿势调节^[4]。卒中中偏瘫患者预期性姿势调节存在肌肉激活时间延迟、激活程度降低、肌肉募集次序退化的情况^[5]。恢复姿势控制是脑卒中康复的主要目标之一。

目前改善姿势控制的康复训练方法主要包括核心躯干控制训练、双重任务训练、任务导向训练、非侵入性刺激技术、虚拟现实技术等。计算机辅助运动和认知双任务训练已被证实可通过注意力再分配、减少次要任务干扰,有效提高帕金森病康复治疗效果,但在脑卒中康复治疗中的结论并不一致^[6-7]。基于动态资源分配模型,双任务训练可能通过降低姿势控制的认知负荷,使得释放的神经资源可被重新分配至高阶执行功能,形成认知-运动增益效应。神经影像学研究发现,在执行双任务过程中,大量与认知和感觉运动相关的脑区广泛激活,尤其是背外侧前额叶(Dorsal lateral prefrontal cortex, DLPFC)和初级运动皮质(Primary motor cortex, M1)^[8-9]。因此,通过调控大脑皮质的兴奋性,可能有助于缓解大脑皮质的认知资源负担,进而提升双任务姿势控制能力。经颅直流电刺激(Transcranial direct current stimulation, tDCS)是一种通过微弱的直流电来调控大脑皮质兴奋性的非侵入性刺激技术。有研究表明,阳极 tDCS 刺激 DLPFC 可增强 θ 频段脑电振荡,促进工作记忆与运动计划的神经同步,从而有效提高健康成年人和老年人的认知-姿势控制双任务能力^[10]。

目前对于认知运动双任务训练联合 tDCS 在卒中偏瘫患者姿势控制中的应用,尤其对认知运动协同调控作用机制的研究仍相对较少。因此,本研究旨在探究认知运动协同调控机制下的认知运动双任务联合 tDCS,对卒中偏瘫患者姿势控

制及认知功能的影响,以期为临床康复实践提供新的思路和方法。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取 2023 年 8 月—2025 年 1 月上海市同仁医院收治的 40 例老年脑卒中患者作为研究对象。纳入标准:①经 CT 或 MRI 检查,符合《中国脑血管病一级预防指南 2019》^[11]中的诊断标准;②年龄 60~80 岁;③首次发病且存在偏瘫、下肢肌力 III 级及以上;④Brunnstrom 分期下肢 III 期及以上,上肢 II 期及以上;⑤无需辅助下能站立 5 min;⑥简易智能精神状态检查量表评分 >17 分,能配合完成认知及运动功能的评估;⑦签署知情同意书。排除标准:①生命体征处于不稳定状态;②患有严重心、肺、肾、肝等内脏器官疾病;③脑部病变前存在肢体功能障碍;④其他原因引起的姿势控制异常,如前庭系统疾病、视觉异常、听觉异常,周围神经及肌肉骨骼病变等;⑤存在严重的认知障碍、重度抑郁等无法配合认知和运动功能评估者;⑥存在癫痫、颅内压增高情况;⑦体内有金属植入物,如心脏起搏器、人工耳蜗、颅内动脉瘤夹等。采用评估者盲法,按照随机数字表法将患者分为对照组和试验组,各 20 例。两组性别、年龄、发病时间、脑卒中类型、偏瘫侧别、受教育程度比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1。本研究经医院伦理委员会批准(同仁伦审 2023-089-01)。

1.2 方法

所有患者均接受常规康复训练,每周 5 次,20 min/次,持续 4 周。在此基础上,对照组增加 20 min 增强运动姿势控制训练联合 tDCS 治疗,试验组增加 20 min 认知运动双任务训练联合 tDCS 治疗。tDCS 治疗时阳极(电极面积为 5 cm \times 7 cm)放置在左背外侧前额叶(L-DLPFC 区),阴极放置在对侧肩部,刺激强度 2.0 mA。增强运动姿势控制训练包括头、颈、躯干控制训练、动态坐姿平衡训练、站立位重心转移训练、站立位动态平衡训练(髌、踝、跨步策略)、步态及步行控制训练。认知运动双任务训练是在增强运动姿势控制训练的同时进行认

知训练任务, 认知训练任务包括数字广度任务、数学计算任务、语言流畅性任务和问答任务。数字广度任务为患者随机听取1个数字生成器生成的三位数并反向复述, 如听到“123”, 则应回答“321”。数学计算任务为受试者进行100以内的连续减法, 需连续回答五次减去7的结果。语言流畅性任务需要受试者在规定的搜索规则下说出尽可能多的词语,

例如在1 min内列举尽可能多的动物或水果名称。问答任务需要受试者回答一系列问题, 例如“今天是什么日子?”“你最喜欢的季节是什么?”“你早餐吃了什么?”等。认知任务难度根据个体表现动态调整(正确率>80%触发升级, 正确率<50%触发降级)。运动任务与认知任务通过听觉/视觉提示同步触发, 确保任务重叠时间>70%。

表1 受试者一般资料比较

Tab. 1 Comparison of general information of the participants

指标	对照组(20例)	试验组(20例)	$t/\chi^2/Z$ 值	P 值
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	66.20 \pm 9.82	65.90 \pm 9.79	0.097	0.923
性别(例)			0	1.000
男	16	15		
女	4	5		
发病时间[$M(Q_1, Q_3)$, 月]	1.00(0.50, 4.75)	2.00(0.55, 7.25)	-0.815	0.415
脑卒中类型			0	1.000
脑梗死	19	19		
脑出血	1	1		
偏瘫侧(例)			1.616	0.204
左	13	9		
右	7	11		
受教育程度(例)			0.960	0.327
高中以下	9	6		
高中及以上	11	14		

1.3 观察指标

1.3.1 主要评价指标 ①采用蒙特利尔认知评估量表(Montreal cognitive assessment, MoCA)评价患者的认知功能: MoCA可用于测量多个认知领域, 包括注意与集中能力、执行力、记忆力、语言、视觉空间能力、抽象思维、计算力和定向力, 总分为30分, 评分越高表明受试者的认知功能越好, >26分为正常^[12]。②采用多方向伸展测试(Multi-directional reach test, MDRT)评价患者的平衡功能: 测量时首先将一根与地面平行的100 cm的标尺固定在伸缩三脚架上, 并调整至受试者肩峰突水平^[13]。MDRT分4个方向进行, 包括向前、向后、向左和向右。要求受试者光脚站立, 将伸出的手臂举至肩部高度, 然后指示受试者“尽可能地伸手(给出方向), 并尽量保持手沿着标尺, 不要移动双脚或从地板上迈出一大步”。对于向后的方向, 受试者被要求“尽量向后靠”。记录伸出的手食指指尖的起始和终止位置, 差值代表该方向的总伸展量^[14]。在测量过程中, 受试者除了尽量伸手外, 没有得到任何有关其行为的具体指示。每个方向记录3次数据并取平均值。

1.3.2 次要评价指标 ①采用计时起立行走测试(Time up and go test, TUGT)评价患者的平衡能力:

将椅子放置于平坦的地面上, 测量出3 m的直线距离, 然后用胶带做上标记。受试者保持坐直的情况下, 听到“开始”的口令后, 起身以自然步速走到胶带处后再转身走回来坐到椅子上。记录受试者从起立行走走到再次坐下的时间, 时间越短, 代表平衡能力越好^[15]。一共测试3次, 每次休息1 min, 取3次数据的平均值。②采用Fugl-Meyer下肢评定量表(Fugl-meyer assessment-lower extremity, FMA-LE)评估患者的下肢运动能力: 包含17个项目, 包括下肢反射活动、屈肌协同运动、伸肌协同运动、坐位下协同运动、站位下分离运动、反射亢进、协调运动能力与速度(跟-膝-胫试验, 快速连续作5次)等。每个项目的最低得分为0分, 最高为2分, 总分为34分, 评分越高代表下肢运动能力越好。FMA-LE是一种广泛应用于卒中后运动功能评估的工具, 被视为金标准并推荐在全球的临床和研究中使用^[16]。③采用简单反应时(Simple reaction time, SRT)评估患者的反应速度: 在测试中呈现的刺激和要求被试做出的反应都只有一个且固定不变。采用视觉刺激形式来检测简单反应时, 视觉刺激为一个圆圈, 受试者通过按键反应。测30次, 每次预备后间隔2 s呈现刺激, 以有效结果的均值为其简单反应时。简单反应时得分越

低说明反应速度越快。④步态分析评估患者行走能力：建立一条长 9.0 m、宽 1.5 m 的试验步道，使用章和智能有限公司生产的三维步态动作捕捉与训练系统，采集中段 3.0 m（第 4 m 开始到第 6 m 结束）步态相对稳定阶段的数据，记录患者步长、步幅、步频、步速等步态参数。

1.4 统计学方法

采用 SPSS25.0 统计学软件进行数据分析。采用 Shapiro-Wilk 检验评估计量资料是否符合正态分布。组间比较：对于符合正态分布的数据，采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用独立样本 t 检验；对于不符合正态分布的数据，采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示，组间比较使用 Mann-Whitney U 检验。组内比较：符合正态分布的数据采用配对 t 检验，非正态分布的数据采用 Wilcoxon 符号秩检验。计数资料组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率检验。所有统计检验均为双侧检验，检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组 MoCA 评分和 MDRT 比较

治疗前，两组 MoCA 评分比较，差异无统计学

意义 ($P>0.05$)。经 4 周治疗后，试验组 MoCA 评分高于对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)，见表 2。治疗前，两组 MDRT 向前、向后、向左、向右最大伸展距离分别比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。经过 4 周治疗后，试验组 MDRT 向后、向左方向最大伸展距离长于对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)；两组 MDRT 向前、向右方向最大伸展距离比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)，见表 3。

表 2 两组 MoCA 评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

Tab. 2 Comparison of MoCA scores between two groups ($\bar{x} \pm s$, scores)

组别	例数	治疗前	治疗后
对照组	20	19.70 ± 5.04	20.50 ± 5.32 ^a
试验组	20	18.55 ± 5.22	23.35 ± 4.16 ^a
t 值		0.709	1.888
P 值		0.483	0.033

注：与治疗前比较^a $P<0.05$ 。

表 3 两组 MDRT 各方向最大伸展距离比较 [$M(Q_1, Q_3)$, cm]

Tab. 3 Comparison of MDRT scores between two groups [$M(Q_1, Q_3)$, cm]

指标		对照组 (20 例)	试验组 (20 例)	Z 值	P 值
MDRT-前	治疗前	14.25(10.98,22.14)	15.61(10.05,23.59)	-0.595	0.565
	治疗后	15.22(13.12,24.37) ^a	20.80(15.01,29.99) ^a	-1.353	0.183
MDRT-后	治疗前	5.87(4.93,8.64)	7.30(6.10,8.41)	-1.096	0.280
	治疗后	7.76(5.88,10.27) ^a	11.34(9.39,13.31) ^a	-3.273	<0.001
MDRT-左	治疗前	11.00(7.92,15.57)	11.02(8.50,14.77)	-0.122	0.910
	治疗后	12.49(8.67,16.12) ^a	16.52(10.71,21.65) ^a	-2.069	0.038
MDRT-右	治疗前	14.44(11.25,17.45)	10.80(5.77,14.88)	-1.867	0.062
	治疗后	15.53(13.37,18.36) ^a	16.00(13.17,18.39) ^a	-0.095	0.925

注：与治疗前比较^a $P<0.05$ 。

2.2 两组 TUGT、FMA-LE 比较

治疗前，两组 FMA-LE、TUGT 比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。经 4 周治疗后，试验组

FMA-LE 评分高于对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)；但两组 TUGT 时间比较，差异无统计学意义 ($P>0.05$)，见表 4。

表 4 两组 FMA-LE 和 TUGT 比较

Tab. 4 Comparison of FMA-LE scores and TUGT time between two groups

组别	例数	FMA-LE($\bar{x} \pm s$, 分)		TUGT [$M(Q_1, Q_3)$, s]	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
对照组	20	23.75 ± 4.29	26.10 ± 5.63 ^a	19.18(12.45,27.81)	16.23(11.41,24.38) ^a
试验组	20	22.40 ± 6.03	29.50 ± 4.19 ^a	18.34(13.04,28.42)	15.25(10.77,22.84) ^a
t/Z 值		0.816	2.168	-0.189	-0.568
P 值		0.419	0.037	0.862	0.578

注：与治疗前比较^a $P<0.05$ 。

2.3 两组步态分析相关参数比较

治疗前, 两组步态分析相关参数比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。经 4 周治疗后, 试验组

右侧步长、步频、步速均高于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 两组左侧步长、步幅比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 见表 6。

表 5 两组步态分析参数比较 [$M(Q_1, Q_3)$]
Tab. 5 Comparison of gait parameters between two groups [$M(Q_1, Q_3)$]

指标		对照组(20 例)	试验组(20 例)	Z 值	P 值
左侧步长(cm)	治疗前	30.00(18.25,50.75)	34.00(28.25,41.00)	-1.231	0.234
	治疗后	33.50(22.75,52.25) ^a	43.00(38.00,53.50) ^a	-1.759	0.080
右侧步长(cm)	治疗前	27.50(23.25,39.75)	38.50(25.50,44.00)	-0.908	0.372
	治疗后	28.50(24.25,42.75) ^a	44.00(35.25,49.00) ^a	-2.166	0.030
步幅(cm)	治疗前	68.00(56.25,91.75)	78.00(56.25,86.50)	-0.514	0.616
	治疗后	70.00(60.25,96.00) ^a	94.50(74.75,97.00) ^a	-1.759	0.080
步频(步/min)	治疗前	77.00(59.25,96.50)	85.50(66.25,96.25)	-0.474	0.654
	治疗后	55.50(43.25,96.50) ^a	96.00(87.00,109.50) ^a	-2.097	0.036
步速(cm/s)	治疗前	51.00(37.25,61.75)	66.00(25.75,76.75)	-0.541	0.606
	治疗后	53.50(43.25,65.25) ^a	77.00(47.75,95.75) ^a	-1.989	0.047

注: 与治疗前比较^a $P<0.05$ 。

2.4 两组 SRT 比较

治疗前, 两组 SRT 比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。经 4 周治疗后, 试验组 SRT 短于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 6。

表 6 两组 SRT 比较 ($\bar{x} \pm s, s$)
Tab. 6 Comparison of SRT between two groups ($\bar{x} \pm s, s$)

组别	例数	治疗前	治疗后
对照组	20	0.91 ± 0.03	0.87 ± 0.05 ^a
试验组	20	0.92 ± 0.03	0.84 ± 0.04 ^a
t 值		0.437	2.306
P 值		0.665	0.027

注: 与治疗前比较^a $P<0.05$ 。

3 讨论

尽管脑卒中一级预防取得了一定的进展, 其仍是全球成人长期残疾的首要病因, 超过 80% 的幸存者仍遗留有多感觉整合功能下降、运动指令执行紊乱等问题^[17]。这种“感觉-运动解耦联”迫使患者出现平衡和步态功能障碍, 增加跌倒风险、降低日常生活自理能力。据统计, 每年有 40%~70% 的脑卒中患者因为姿势控制异常发生跌倒事件, 增加了心理上对跌倒的恐惧, 进而减少日常活动、避免社交^[18]。姿势控制是进行功能性活动的重要基础, 需要精准整合视觉、前庭觉及躯体感觉信息并协调有序地激活神经肌肉系统^[19]。大多数情况下姿势控制不需要意识参与控制, 但双任务研究表明, 注意力资源需求会随着年龄、

中枢神经系统损伤、任务要求难度增加而增强^[20-21]。脑卒中患者为了纠正感觉功能减退、运动功能障碍引起的姿势不稳定, 常常会分配过多的注意力资源来控制姿势 (即有意识的姿势控制), 从而导致姿势控制的自动性下降和姿势不稳定增加^[22]。有研究表明, 与认知功能正常的对照组比较, 认知功能障碍的患者跌倒发生率增加了 25%^[23]。因此改善认知功能、提高姿势控制能力是脑卒中后康复的关键。

目前康复治疗通常在单一任务条件下进行, 而在实际生活中人们大多需要同时进行双重乃至多重任务 (如步行等转移过程中与他人沟通、适应环境变化等)。据报道, 20% 的脑卒中患者同时存在认知障碍和运动障碍, 即使在平衡和步态功能良好的脑卒中患者中, 仍有超 1/3 患者在执行双重任务时出现困难^[24-25]。tDCS 可能通过调节皮层兴奋性强化认知运动双任务训练效果, 帮助脑卒中患者重返社会^[26]。

本研究发现经过 4 周治疗后, 两组 MoCA 评分、MDRT 向后及向左最大伸展距离、FMA-LE、SRT、右侧步长、步频、步速均优于干预前, 且试验组优于对照组, 提示认知运动双任务训练联合 tDCS 治疗对脑卒中患者姿势控制和认知功能具有改善作用。此结果与多项研究结果报道一致^[27]。Iqbal 等^[28]对 64 例慢性脑卒中患者开展的一项随机对照研究显示, 较常规物理治疗组而言, 双任务训练组的脑卒中偏瘫患者步行能力提高、认知功能改善。Liao 等^[29]发现, 与 tDCS 假刺激联合太极拳组比较, 接受 tDCS (阳极刺激 L-DLPFC) 联合

太极拳训练组的轻度认知功能障碍患者在认知运动双任务步行测试中表现出更明显的改善。本研究通过双任务模拟真实生活场景（如边行走边对话），突破了传统单任务训练生态效度不足的局限；利用 tDCS 的神经调控特性破除脑卒中后 DLPFC-M1 通路抑制性失衡，实现“自上而下”运动训练与“自上而下”认知调控的协同增效。

认知运动双任务训练的康复效应可能源于 DLPFC-M1 通路的协同重塑机制^[30-33]。训练过程中，认知任务（如数字广度任务）持续激活 DLPFC 以维持工作记忆资源，而动态姿势控制任务则依赖 M1 对下肢肌肉的协调募集。两者的同步激活符合 Hebbian 可塑性理论，可能诱导 DLPFC-M1 间突触连接的长时程增强（LTP）^[34]。而阳极 tDCS 施加于 DLPFC 的干预，通过降低该区域锥体神经元的静息膜电位阈值，不仅增强了局部神经元的兴奋性，还可能通过皮质-皮质下环路的级联效应，优化 DLPFC 对 M1 的下行调控效率^[35-37]。这种神经可塑性的协同强化机制可解释本研究中试验组在 MoCA 评分与步态对称性上的显著提升——DLPFC-M1 通路的功能耦合增强，使患者能够更高效地分配认知资源以应对双任务需求。

综上所述，认知运动双任务训练联合 tDCS 可通过改善认知、提高平衡功能改善脑卒中偏瘫患者姿势控制能力。此研究也存在一定局限性：首先，如 MoCA 作为筛查工具评估了不同的认知领域，但并没有单独采集执行功能、注意力相关评定来分析不同认知域对姿势控制的影响。其次，在未来的研究中，需结合多模态神经影像、血清脑源性神经营养因子等分子标志物验证本研究的假设，例如将功能性磁共振成像作为评估手段之一，观察感兴趣区的激活并探索认知运动双任务训练联合 tDCS 改善姿势控制及认知功能的潜在机制，以期寻找新治疗靶点。

参考文献

- [1] Zhou M, Wang H, Zeng X, et al. Mortality, morbidity, and risk factors in China and its provinces, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 [J]. *Lancet*, 2019, 394 (10204): 1145–1158.
- [2] Kuriakose D, Xiao Z. Pathophysiology and treatment of stroke: present status and future perspectives [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(20): 7609.
- [3] Dean C, Mackey F. Motor assessment scale scores as a measure of rehabilitation outcome following stroke [J]. *Aust J Physiother*, 1992, 38(1): 31–35.
- [4] Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research [J]. *Gait Posture*, 2002, 16(1): 1–14.
- [5] 尹群辉, 张皓. 脑卒中偏瘫患者预期性姿势调节的研究进展 [J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23 (11): 1250–1253.
- [6] Yin Q H, Zhang H. Research progress on anticipatory postural adjustment in stroke patients with hemiplegia [J]. *Chin J Rehabil Theory Pract*, 2017, 23 (11): 1250–1253.
- [7] Tan X, Wang K, Sun W, et al. A review of recent advances in cognitive-motor dual-tasking for Parkinson's disease rehabilitation [J]. *Sensors (Basel)*, 2024, 24(19): 6353.
- [8] He Y, Yang L, Zhou J et al. Dual-task training effects on motor and cognitive functional abilities in individuals with stroke: a systematic review [J]. *Clin Rehabil*. 2018;32(7):865–877.
- [9] Stuart S, Alcock L, Rochester L, et al. Monitoring multiple cortical regions during walking in young and older adults: dual-task response and comparison challenges [J]. *Int J Psychophysiol*, 2019, 135: 63–72.
- [10] Lapanan K, Kantha P, Nantachai G, et al. The prefrontal cortex hemodynamic responses to dual-task paradigms in older adults: a systematic review and meta-analysis [J]. *Heliyon*, 2023, 9(7): e17812.
- [11] Zhou J, Manor B, Yu W, et al. Targeted tDCS Mitigates Dual-Task Costs to Gait and Balance in Older Adults [J]. *Ann Neurol*, 2021, 90(3): 428–439.
- [12] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑血管病一级预防指南 2019 [J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(9): 684–709. Chinese Society of Neurology, Cerebrovascular Disease Group of Chinese Society of Neurology. Chinese guidelines for primary prevention of cerebrovascular diseases 2019 [J]. *Chin J Neurol*, 2019, 52(9): 684–709.
- [13] Lau H Y, Lin Y H, Lin K C, et al. Reliability of the montreal cognitive assessment in people with stroke [J]. *Int J Rehabil Res*, 2024, 47(1): 46–51.
- [14] Tantisuwat A, Chamonchant D, Boonyong S. Multi-directional reach test: an investigation of the limits of stability of people aged between 20–79 years [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(6): 877–880.
- [15] Newton R A. Validity of the multi-directional reach test: a practical measure for limits of stability in older adults [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2001, 56(4): M248–M252.
- [16] Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons [J]. *J Am Geriatr Soc*, 1991, 39(2): 142–148.
- [17] Hernández E D, Forero S M, Galeano C P, et al. Intra- and inter-rater reliability of fugl-meyer assessment of lower extremity early after stroke [J]. *Braz J Phys Ther*, 2021, 25(6): 709–718.
- [18] GBD 2021 Stroke Risk Factor Collaborators et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2021: a systematic analysis for the global burden of disease study 2021 [J]. *Lancet Neurol*, 2024, 23(10): 973–1003.
- [19] Goh H T, Nadarajah M, Hamzah N B, et al. Falls and

- fear of falling after stroke; a case-control study[J]. *PM R*, 2016,8(12):1173-1180.
- [19] Kannan L, Vora J, Bhatt T, et al. Cognitive-motor exergaming for reducing fall risk in people with chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2019,44(4):493-510.
- [20] Shumway-Cook A, Woollacott M. Attentional demands and postural control: the effect of sensory context[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2000,55(1):M10-M16.
- [21] Richer N, Lajoie Y. Automaticity of postural control while dual-tasking revealed in young and older adults[J]. *Exp Aging Res*, 2020,46(1):1-21.
- [22] Brown L A, Sleik R J, Winder T R. Attentional demands for static postural control after stroke[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2002,83(12):1732-1735.
- [23] Batchelor F A, Mackintosh S F, Said C M, et al. Falls after stroke[J]. *Int J Stroke*, 2012, 7(6): 482-490.
- [24] Einstad M S, Saltvedt I, Lydersen S, et al. Associations between post-stroke motor and cognitive function: a cross-sectional study[J]. *BMC Geriatr*, 2021,21(1):103.
- [25] 郑旺, 周煜达, 邱纪方. 认知双重任务对脑卒中后平衡及步行功能的影响[J]. *中国康复*, 2024, 39(4): 237-240.
- Zheng W, Zhou Y D, Qiu J F. Effect of cognitive dual-task on balance and walking function after stroke [J]. *Chin J Rehabil*, 2024,39(4): 237-240.
- [26] Yu H X, Wang Z X, Liu C B, et al. Effect of cognitive function on balance and posture control after stroke[J]. *Neural Plast*, 2021,2021:6636999.
- [27] Ghai S, Ghai I, Effenberg A O. Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Interv Aging*, 2017,12: 557-577.
- [28] Iqbal M, Arsh A, Hammad S M, et al. Comparison of dual task specific training and conventional physical therapy in ambulation of hemiplegic stroke patients; a randomized controlled trial[J]. *J Pak Med Assoc*, 2020,70(1):7-10.
- [29] Liao Y Y, Liu M N, Wang H C, et al. Combining transcranial direct current stimulation with tai chi to improve dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial[J]. *Front Aging Neurosci*, 2021,13:766649.
- [30] Wu T, Liu J, Hallett M, et al. Cerebellum and integration of neural networks in dual-task processing[J]. *Neuroimage*, 2013,65:466-475.
- [31] Chen H I, Fu S Y, Liu T W, et al. Changes in cognitive-motor interference during rehabilitation of cane walking in patients with subacute stroke: a pilot study[J]. *PLoS One*, 2022;17(10):e0274425.
- [32] Obeso I, Wilkinson L, Teo J T, et al. Theta burst magnetic stimulation over the pre-supplementary motor area improves motor inhibition [J]. *Brain Stimul*, 2017, 10(5):944-951.
- [33] Lim S B, Peters S, Yang CL, et al. Frontal, sensorimotor, and posterior parietal regions are involved in dual-task walking after stroke [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 904145.
- [34] Sumner R L, Spriggs M J, Muthukumaraswamy S D et al. The role of hebbian learning in human perception: a methodological and theoretical review of the human visual long-term potentiation paradigm [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2020;115:220-237.
- [35] Begemann M J, Brand B A, Ćurčić-Blake B, et al. Efficacy of non-invasive brain stimulation on cognitive functioning in brain disorders: a meta-analysis[J]. *Psychol Med*, 2020,50(15):2465-2486.
- [36] Wang J, Wang W, Hou Z G. EEG-based focus of attention tracking and regulation during dual-task training for neural rehabilitation of stroke patients [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2023,70(3):920-930.
- [37] Jor'dan A J, Bernad-Elazari H, Mirelman A, et al. Transcranial direct current stimulation may reduce prefrontal recruitment during dual task walking in functionally limited older adults-a pilot study[J]. *Front Aging Neurosci*, 2022,14:843122.