

## 经颅直流电刺激联合上肢机器人虚拟情景训练对脑卒中患者认知功能的影响

杨文洁, 张玲玲, 刘莉, 程欣欣, 张羽

(南京医科大学附属脑科医院康复医学科 江苏 南京 210000)

**摘要 目的:** 旨在评估经颅直流电刺激 (tDCS) 联合上肢机器人虚拟情景训练 (ULR-VST) 对脑卒中患者认知功能的影响。**方法:** 选取 2022 年 6 月—2024 年 6 月南京医科大学附属脑科医院治疗的 150 例脑卒中患者作为研究对象, 通过随机分配法划分为常规组 (常规认知康复)、tDCS 组 (tDCS 治疗) 和联合组 (tDCS 联合 ULR-VST), 每组各 50 例, 比较三组患者的认知功能、行为能力和生活能力。**结果:** 干预 2 周后, 三组简易智力状态检查量表 (MMSE) 评分、蒙特利尔认知评估量表 (MoCA) 评分比较, 联合组 > tDCS 组 > 常规组 ( $P < 0.05$ ); 三组执行缺陷综合征的行为学评价 (BADs) 评分、Fugl-Meyer 上肢运动功能评定量表 (FMA-UE) 评分相比, 联合组 > tDCS 组 > 常规组 ( $P < 0.05$ ); 三组 Barthel 指数比较, 联合组 > tDCS 组 > 常规组 ( $P < 0.05$ )。**结论:** 相比常规认知康复和 tDCS 单独治疗, tDCS 联合 ULR-VST 对脑卒中患者的康复效果更佳, 可有效改善患者的认知功能, 提升行动能力, 提高生活质量。

**关键词** 经颅直流电刺激; 上肢康复机器人; 虚拟情景训练; 脑卒中; 认知功能

**中图分类号** R493 R743 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 05-0740-06

## Effect of transcranial direct current stimulation combined with upper limb robotic virtual scenario training on cognitive function in stroke patients

YANG Wenjie, ZHANG Lingling, LIU Li, CHENG Xinxin, ZHANG Yu

(Rehabilitation Medicine, the Affiliated Brain Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, China)

**Abstract Objective:** To evaluate the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with upper limb robotic virtual scenario training (ULR-VST) on cognitive function in stroke patients. **Methods:** 150 stroke patients treated at the Affiliated Brain Hospital of Nanjing Medical University from June 2022 to June 2024 were enrolled. They were randomly divided into the conventional group (receiving standard cognitive rehabilitation), tDCS group (receiving tDCS alone) and combined group (receiving tDCS + ULR-VST), with 50 patients in each group. Cognitive function, behavioral performance, and activities of daily living (ADL) were compared across the three groups. **Results:** After 2 weeks of intervention, the combined group showed significantly higher scores on the mini-mental state examination (MMSE) and montreal cognitive assessment (MoCA) than the tDCS group and conventional group ( $P < 0.05$ ), with a rank order of combined group > tDCS group > conventional group. Similarly, the combined group outperformed the other two groups on the Behavioral assessment of dysexecutive syndrome (BADs) and Fugl-Meyer assessment for upper extremity (FMA-UE) ( $P < 0.05$ ). The Barthel index scores also followed the same trend: combined group > tDCS group > conventional group ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Compared to conventional cognitive rehabilitation or tDCS alone, the combination of tDCS and ULR-VST shows better rehabilitation outcomes, which can effectively improve cognitive function, motor performance, and quality of life in stroke patients.

**Key words** Transcranial Direct Current Stimulation; Upper Limb Rehabilitation Robot; Virtual Scenario Training; Stroke; Cognitive Function

**基金项目:** 2022 年江苏省卫生健康委医学科科研项目 (ZD2022030); 南京医科大学科技发展基金 (NMUB2019113)

**Foundation Item:** Jiangsu Provincial Health and Health Commission Medical Research Project in 2022(ZD2022030); Science and Technology Development Fund of Nanjing Medical University(NMUB2019113)

**引用格式:** 杨文洁, 张玲玲, 刘莉, 等. 经颅直流电刺激联合上肢机器人虚拟情景训练对脑卒中患者认知功能的影响 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (5): 740-745.

**Citation:** YANG W J, ZHANG L L, LIU L, et al. Effect of transcranial direct current stimulation combined with upper limb robotic virtual scenario training on cognitive function in stroke patients[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(5): 740-745.

**通讯作者 (Corresponding Author):** 张玲玲 (ZHANG Lingling), Email: 734012238@qq.com

脑卒中是影响全球成人健康的主要疾病之一，具有高发病率、高致残率和高死亡率的特点<sup>[1-2]</sup>。脑卒中后，患者易出现记忆力、注意力、执行功能和语言功能等认知功能障碍，严重影响患者的日常生活质量和康复进程。传统的脑卒中康复治疗主要侧重于物理治疗和作业治疗，旨在帮助患者恢复身体功能和日常生活能力<sup>[3-4]</sup>。然而，对于认知功能的恢复，传统的康复治疗效果有限。因此，寻找更有效且安全的康复策略对改善脑卒中后认知障碍患者的生活质量具有重要意义。近年来，经颅直流电刺激（Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS）和虚拟现实技术在上肢康复中的应用逐渐受到关注<sup>[5-6]</sup>。tDCS是一种非侵入性的中枢调控技术，通过施加微弱的直流电刺激大脑皮质，调节神经元的极化状态，从而影响神经元的放电模式和神经网络的活动模式，具有无创、简便、安全等优点。虚拟现实技术则能够提供沉浸式的认知刺激，通过模拟现实场景，帮助患者改善记忆力、注意力等认知功能。tDCS联合上肢机器人虚拟情景训练（Upper Limb Robotic Virtual Scenario Training, ULR-VST）对脑卒中患者认知功能的效果观察在国外研究中常见<sup>[7-8]</sup>，而国内

相关研究较少。为此，本研究采用 tDCS 联合 ULR-VST，旨在找出更优的脑卒中康复治疗方案，以提高患者的康复效果和生活质量。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2022 年 6 月—2024 年 6 月南京医科大学附属脑科医院治疗的 150 例脑卒中患者作为研究对象，通过随机分配法将其划分为常规组（常规认知康复）、tDCS 组（tDCS 治疗）和联合组（tDCS 联合 ULR-VST），每组各 50 例，三组患者的一般资料比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），具有可比性（见表 1）。纳入标准：①符合《脑卒中中西医结合防治指南（2023 版）》<sup>[9]</sup> 诊断标准，且通过影像学确诊；②病情稳定，意识清楚，可沟通表达，且经患者同意并签署知情书；③上肢功能障碍明显，简易智力状态检查量表（Mini-mental State Examination, MMSE）评分 $\leq 18$  分。排除标准：①合并恶性肿瘤癌变患者；②合并严重肠道、肝肾、心肺疾病患者；③合并严重心血管疾病、凝血功能疾病患者；④体内装有起搏器、义齿等金属器械患者；⑤严重癫痫、精神分裂症患者；⑥严重抑郁或自杀倾向明显患者；⑦沟通障碍或失语症患者。

表 1 三组患者一般资料比较 [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]  
Table 1 Comparison of general data among the three groups of patients [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

| 指标                       | 常规组 (n=50)        | tDCS 组 (n=50)     | 联合组 (n=50)        | $\chi^2/F$ 值 | P 值   |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------|
| 性别                       |                   |                   |                   | 0.160        | 0.923 |
| 女                        | 24 (33.33)        | 23 (31.94)        | 25 (34.72)        |              |       |
| 男                        | 26 (33.33)        | 27 (34.62)        | 25 (32.05)        |              |       |
| 类型                       |                   |                   |                   | 3.584        | 0.167 |
| 脑梗死                      | 22 (30.99)        | 29 (40.85)        | 20 (28.17)        |              |       |
| 脑出血                      | 28 (35.44)        | 21 (26.58)        | 30 (37.97)        |              |       |
| 文化程度                     |                   |                   |                   | 2.174        | 0.704 |
| 小学及以下                    | 9 (28.13)         | 12 (37.50)        | 11 (34.38)        |              |       |
| 中学及中专                    | 28 (36.84)        | 26 (34.21)        | 22 (28.95)        |              |       |
| 大专及以上                    | 13 (30.95)        | 12 (28.57)        | 17 (40.48)        |              |       |
| 病灶部位                     |                   |                   |                   | 2.615        | 0.270 |
| 左侧                       | 25 (34.25)        | 28 (38.36)        | 20 (27.40)        |              |       |
| 右侧                       | 25 (32.47)        | 22 (28.57)        | 30 (38.96)        |              |       |
| 年龄 (岁)                   | 55.34 $\pm$ 15.59 | 57.02 $\pm$ 13.70 | 57.94 $\pm$ 12.76 | 0.439        | 0.645 |
| 病程 (d)                   | 19.74 $\pm$ 9.74  | 17.38 $\pm$ 9.04  | 21.10 $\pm$ 9.16  | 2.040        | 0.134 |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 23.51 $\pm$ 2.34  | 23.16 $\pm$ 1.94  | 23.78 $\pm$ 1.86  | 1.151        | 0.319 |

**1.2 治疗方法** 所有患者入院后先进行认知功能、行为能力和生活能力评估,根据评估结果,确定患者是否存在认知功能障碍,并评估其严重程度。

**1.2.1 常规组** 采用常规认知康复。①注意力训练采用卡片翻转游戏:为患者提供一张卡片,引导患者凭借记忆找出匹配的卡片。②听觉理解训练和空间结构训练采用拼图游戏、积木搭建或者语言指导下的空间操作任务训练,要求患者按照指示完成。③记忆力训练采用故事复述法:让患者听完一个简短故事后复述,也可引导患者回忆一天内所做的事情并讲述,表述通过后可追加到3天前或1周前所做的事并讲述。④学习能力训练采用数学游戏或应用程序进行数学运算练习,增加趣味性,也可应用数字卡片完成加减乘除的等式匹配游戏。⑤引导患者开展穿衣、刷牙、洗脸和进食等技能训练,除了基本生活技能,还可模拟生活场景,如购物、烹饪等,对患者进行日常生活能力训练。

**1.2.2 tDCS 组** 采用深圳英智科技有限公司生产的tDCS仪进行治疗,将阳极电极放在患者左侧前额叶背外侧,阴极放在右侧前额叶背外侧,使用1~2 mA的电流进行不间断刺激,通常每次刺激时间为20 min。机器刺激开始前和结束后的电流上坡时间和下坡时间为15 s。

**1.2.3 联合组** 在tDCS的基础上联合ULR-VST。使用上海金矢机器人科技有限公司生产的iReMo上肢康复机器人设备(沪械注准20212190479),患者坐在机器人面前,将手固定于手套,而后开展抓握、伸展、对指等各种运动。同时,康复机器人为患者提供虚拟情景,引导其参与模拟购物、烹饪、清洁等日常生活任务。训练时间为20 min/d,每天2次。训练过程中,可根据患者的异常反应和进步做适当调整,当全身出现肌张力增高或者异常反应时应及时停止,而对于患者适应机器人训练后可适当增加强度。此外,要密切观察患者的反应,根据监测结果,及时调整tDCS的刺激参数和ULR-VST的强度和时长。三组训练持续2周。

**1.3 观察指标** ①认知能力:MMSE的评估内容包括记忆力、注意力、语言能力、视空间能力等7个方面。总分30分,分数越高,认知功能越好。蒙特利尔认知评估量表(Montreal Cognitive Assessment,

MoCA)的评估内容包括记忆、语言、视空间、执行功能、注意力、抽象思维、延迟回忆、定向力等。总分30分,分数越高,认知功能越好。②行为能力:执行缺陷综合征的行为学评价(Behavioural Assessment of Dysexecutive Syndrome, BADS)包含6个子测试,分别为规则转换卡片测试、动作计划(程序性动作设计)测试、找钥匙测试、时间判断(空间判断)测试、动物园分布图测试、修订的六元素测试。总分0~24分,分数越高,执行能力越强。

Fugl-Meyer上肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer Assessment for Upper Extremity, FMA-UE)包括33个上肢近端及远端肢体运动相关条目,每项按0、1、2计分,0分为完全不能完成,2分为可以完成规定动作,1分介于二者之间。总分为0~66分,分数越高,上肢运动功能越好。③生活能力:采用Barthel指数进行评估,包括进食、洗澡、修饰(洗脸、刷牙等)、穿衣、大便控制、小便控制、用厕、床椅转移、平地行走、上下楼梯10项内容。总分100分,分数越高,生活能力越强。

**1.4 数据质量控制** ①受试者采用不同楼层分隔进行干预治疗,避免组间沾染。②数据录入采用双轨录入法,一旦发现问题及时核对修正。③数据保存以每例患者信息进行独立成册,密封保存,以便数据审计。

**1.5 统计学方法** 所有数据采用SPSS 25.0统计学软件进行数据统计分析,符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,采用方差检验。计数资料以例数(百分比)[ $n(\%)$ ]表示,采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 认知功能** 干预前,三组的MMSE与MoCA评分比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。干预2周后,三组MMSE与MoCA评分相比,联合组>tDCS组>常规组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表2。

**2.2 行为能力** 干预前,三组BADS与FMA-UE评分相比,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。干预2周后,三组BADS与FMA-UE评分相比,联合组>tDCS组>常规组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表3。

**2.3 生活能力** 干预前,三组Barthel指数评分相比,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。干预2周后,三组

表 2 三组患者认知功能比较 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 2 Comparison of cognitive function among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别            | MMSE 评分      |              | MoCA 评分      |              |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|               | 干预前          | 干预后          | 干预前          | 干预后          |
| 常规组 (n=50)    | 14.30 ± 1.73 | 16.36 ± 1.60 | 16.24 ± 1.45 | 19.18 ± 1.72 |
| tDCS 组 (n=50) | 14.36 ± 1.56 | 18.48 ± 2.24 | 16.42 ± 1.54 | 20.90 ± 1.87 |
| 联合组 (n=50)    | 14.44 ± 1.49 | 21.08 ± 2.89 | 16.48 ± 1.46 | 23.54 ± 1.84 |
| F 值           | 0.097        | 52.551       | 0.354        | 73.499       |
| P 值           | 0.908        | <0.001       | 0.702        | <0.001       |

表 3 三组患者行为能力比较 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 3 Comparison of behavioral capacity among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别            | BADS 评分     |              | FMA-UE 评分    |              |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
|               | 干预前         | 干预后          | 干预前          | 干预后          |
| 常规组 (n=50)    | 4.44 ± 2.82 | 8.90 ± 2.17  | 34.84 ± 2.77 | 40.52 ± 3.40 |
| tDCS 组 (n=50) | 4.42 ± 2.70 | 13.22 ± 2.03 | 34.68 ± 3.04 | 46.28 ± 4.85 |
| 联合组 (n=50)    | 4.78 ± 2.70 | 15.74 ± 2.51 | 34.70 ± 2.43 | 48.04 ± 5.72 |
| F 值           | 0.273       | 118.423      | 0.050        | 34.225       |
| P 值           | 0.762       | <0.001       | 0.951        | <0.001       |

Barthel 指数评分相比，联合组 >tDCS 组 > 常规组，差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )，见表 4。

3 讨论

脑卒中后认知障碍是脑卒中常见的并发症之一，其发病率高达 50% 以上，且近三成患者可能进展为卒中后痴呆，严重影响患者的生活质量，增加家庭负担<sup>[10-12]</sup>。因此，开展针对脑卒中后认知障碍的干预研究具有迫切性和重要性。本研究中，联合组干预后 MMSE 与 MoCA 评分最高，表明 tDCS 联合 ULR-VST 效果显著，对患者认知康复的敏感性更高，针对性更强。一方面，tDCS 通过头皮施加微弱的直流电，可以改变大脑皮层的兴奋性，影响神经

元的放电模式和神经网络的活动模式，调节认知功能<sup>[13-14]</sup>。同时，tDCS 能够刺激大脑皮层的神经元，促进神经元和胶质细胞中突触的形成和增强<sup>[15-17]</sup>。这种神经可塑性的增强有助于改善认知功能，特别是在记忆力、学习力和执行功能方面。此外，在 tDCS 下，还可能影响大脑分泌谷氨酸、 $\gamma$ -氨基丁酸 (GABA) 等神经递质和神经化学物质，这些物质的增加有助于认知功能的恢复<sup>[18-20]</sup>。另一方面，ULR-VST 通过模拟现实场景，为患者提供丰富的视觉、听觉和触觉等感官刺激，有助于激活大脑中的相关神经网络，促进神经可塑性<sup>[21-22]</sup>。加之虚拟情景训练通常结合上肢机器人的运动训练功能，帮助患者进行精准的上肢运动，促进受损神经元的再生和修复，改善上肢的运动功能<sup>[23-24]</sup>。同时，运动功能的恢复也可能间接促进认知功能的改善。虚拟情景训练中的任务要求患者进行记忆、注意、决策等认知操作。这些任务有助于锻炼患者的认知能力，提高记忆力和注意力等。tDCS 和 ULR-VST 同时应用于脑卒中患者中会产生协同效应，tDCS 可以直接调节大脑皮层的兴奋性，而 ULR-VST 则通过提供丰富的感官刺激和认知任务来锻炼患者的认知能力。两者结合使用可以进一步促进神经元的再生和

表 4 三组患者生活能力比较 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 4 Comparison of living ability among the three groups of patients ( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别            | Barthel 指数评分 |              |
|---------------|--------------|--------------|
|               | 干预前          | 干预后          |
| 常规组 (n=50)    | 32.74 ± 4.95 | 43.98 ± 4.88 |
| tDCS 组 (n=50) | 33.70 ± 5.29 | 51.58 ± 7.73 |
| 联合组 (n=50)    | 33.20 ± 5.19 | 58.16 ± 7.01 |
| F 值           | 0.716        | 71.427       |
| P 值           | 0.490        | <0.001       |

修复,更有效地改善患者记忆力、学习力和执行功能等认知功能<sup>[25-26]</sup>。tDCS 和 ULR-VST 都是无创、安全的康复治疗方法,通过定期的治疗和训练,患者可以逐渐改善认知功能和上肢运动功能,提高生活质量。

本研究中,干预后三组 BADS、FMA-UE 和 Barthel 指数评分均上升,表明三种干预方式均有一定效果,但是联合组效果更佳。这进一步表明 tDCS 和 ULR-VST 在脑卒中患者的康复中具有协同作用。tDCS 通过调节大脑皮质兴奋性,为大脑功能的重塑提供了基础;而 ULR-VST 则通过精准的训练和反馈机制,进一步促进了大脑与肢体的协调性和功能的恢复。孙琦等人<sup>[27]</sup>指出,上肢康复机器人的应用对脑卒中患者上肢功能恢复有积极作用。张雪婷等人<sup>[28]</sup>认为 tDCS 对脑卒中患者认知功能具有恢复效果,与本研究不同的是,其认为联合中医针灸效果更佳。然而,Marotta N 等人<sup>[29]</sup>通过 892 例患者的对照研究指出,机器人辅助治疗脑卒中效果显著,但是加用 tDCS 效果并不明显。Comino-Suárez N 等人<sup>[30]</sup>也持相似观点,认为 tDCS 联合 ULR-VST 并不能改善卒中后患者的上肢功能、力量、痉挛、功能独立性或运动速度,但是 tDCS 可能会改善下肢功能。Bernal-Jiménez J J 等人<sup>[31]</sup>认为, tDCS 与末端执行器机器人辅助治疗相结合对慢性脑卒中患者康复有一定效果,尤其是改善在手部灵活性方面。

综上所述, tDCS 联合 ULR-VST 比常规认知康复、tDCS 单独治疗对脑卒中后患者认知功能的改善效果更佳,可有效提升其行动能力,提高生活质量。本研究由于资源、时间和成本等因素的限制,样本量相对较小。这可能导致研究结果存在一定的偏差,且难以推广到更广泛的脑卒中患者群体中。未来的研究应纳入更多的脑卒中患者,以提高结果的准确性和可靠性,通过多中心、大样本的研究,采用双盲、随机对照等严谨的研究设计,可以更全面地评估 tDCS 联合 ULR-VST 对脑卒中患者认知功能的影响,以减少主观性和偏倚。

**利益冲突声明:** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明:** 杨文洁、张玲玲、张羽负责设计论文框架,起草论文;刘莉、程欣欣负责实验操作,研究过程的实施;张玲玲、刘莉、程欣欣负责数据收集,统计学分析,绘制图表;杨文洁、张玲玲、程欣欣负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

## 参考文献

- [1] 王芬芬,徐蓉贞. 上肢康复机器人联合镜像疗法对脑卒中患者上肢运动功能及日常生活活动能力的疗效[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2024, 5(5): 871-875.
- [2] 黄莉,区腾飞,杨洁,等. 脑卒中后认知障碍预测模型的构建与验证[J]. 西安交通大学学报:医学版, 2023, 44(2): 214-220.
- [3] 魏淑琦,孟心怡,阎文静,等. 急性轻型缺血性脑卒中患者扩大的血管周围间隙与脑卒中后认知功能障碍的相关性[J]. 中华神经医学杂志, 2022, 21(1): 8.
- [4] 涂舒婷,林嘉滢,庄金阳,等. 脑卒中后认知障碍发病现状及相关因素分析:一项基于脑卒中全周期康复的多中心横断面研究[J]. 中国全科医学, 2024, 27(23): 2829-2837.
- [5] Bernal-Jiménez J J, Polonio-López B, Sanz-García A, et al. Is the combination of robot-assisted therapy and transcranial direct current stimulation useful for upper limb motor recovery? A systematic review with Meta-analysis[J]. Healthcare (Basel), 2024, 12(3): 337.
- [6] Lima J P S, Silva L A, Delisle-Rodriguez D, et al. Unraveling transformative effects after tDCS and BCI intervention in chronic post-stroke patient rehabilitation-an alternative treatment design study[J]. Sensors (Basel), 2023, 23(23): 9302.
- [7] Fonte C, Varalta V, Rocco A, et al. Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted arm training in patients with stroke: a systematic review[J]. Restor Neurol Neurosci, 2021, 39(6): 435-446.
- [8] Kim E, Lee G, Lee J, et al. Simultaneous high-definition transcranial direct current stimulation and robot-assisted gait training in stroke patients[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 4483.
- [9] 倪小佳,林浩,罗旭飞,等. 脑卒中中西医结合防治指南(2023版)[J]. 中国全科医学, 2025, 28(5): 521-533.
- [10] Morone G, Capone F, Iosa M, et al. May dual transcranial direct current stimulation enhance the efficacy of robot-assisted therapy for promoting upper limb recovery in chronic stroke?[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2022, 36(12): 800-809.
- [11] Sethi A, Pascual-Leone A, Santarnecchi E, et al. Transcranial random noise stimulation to augment hand function in individuals with moderate-to-severe stroke: A pilot randomized clinical trial[J]. Restor Neurol Neurosci, 2023, 41(5-6): 193-202.
- [12] 王连,张松,郭铁成. 缺血性脑卒中认知障碍动物模型的研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2024, 46(1): 70-74.
- [13] 陈甜甜,徐东平,孙凤宝,等. 经颅直流电刺激联合对侧控制型功能性电刺激对脑卒中患者上肢功能的效果[J]. 中国康复理论与实践, 2023, 29(5): 527-532.
- [14] 姬忠敏,李道静,张爱梅. 功能性近红外光谱技术在脑卒中后抑郁及认知障碍中的应用研究进展[J]. 中华神经医学杂志, 2024, 23(2): 202-207.
- [15] Bressi F, Cinnera A M, Morone G, et al. Combining robot-assisted gait training and non-invasive brain stimulation in chronic stroke patients: A systematic review[J]. Front Neurol, 2022. DOI: 10.3389/fneur.2022.795788.
- [16] Kuwahara W, Sasaki S, Yamamoto R, et al. The effects of robot-assisted gait training combined with non-invasive brain stimulation on lower limb function in patients with stroke and spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis[J]. Front Hum Neurosci, 2022. DOI: 10.3389/fnhum.2022.969036.
- [17] Raess L, Hawe R L, Metzler M, et al. Robotic rehabilitation and transcranial direct current stimulation in children with bilateral cerebral palsy[J]. Front Rehabil Sci, 2022. DOI: 10.3389/fre.2022.843767.
- [18] Hirayama K, Fuchigami T, Morioka S. Transcranial direct electrical stimulation for hand function in a stroke patient with severe upper limb paralysis due to lenticulostriate artery occlusion: a case report[J]. J Med Case Rep, 2021, 15(1): 582.
- [19] Reis S B, Bernardo W M, Oshiro C A, et al. Effects of robotic therapy associated with noninvasive brain stimulation on upper-limb rehabilitation

- after stroke: Systematic review and Meta-analysis of randomized clinical trials[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2021, 35(3): 256–266.
- [20] Moretti C B, Edwards D J, Hamilton T, et al. Robotic Kinematic measures of the arm in chronic Stroke: part 1–Motor Recovery patterns from tDCS preceding intensive training[J]. *Bioelectron Med*, 2021, 7(1): 20.
- [21] HU C P, Ti C H E, YUAN K, et al. Effects of high-definition tDCS targeting individual motor hotspot with EMG-driven robotic hand training on upper extremity motor function: a pilot randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2024, 21(1): 169.
- [22] Moretti C B, Hamilton T, Edwards D J, et al. Robotic Kinematic measures of the arm in chronic Stroke: part 2–strong correlation with clinical outcome measures[J]. *Bioelectron Med*, 2021, 7(1): 21.
- [23] De Laet C, Herman B, Riga A, et al. Bimanual motor skill learning after stroke: Combining robotics and anodal tDCS over the undamaged hemisphere: An exploratory study[J]. *Front Neurol*, 2022. DOI: 10.3389/fneur.2022.882225.
- [24] O'Dell M W. Stroke rehabilitation and motor recovery[J]. *Continuum (Minneapolis)*, 2023, 29(2): 605–627.
- [25] ZHU F F, XU X J, JIN M X, et al. Priming transcranial direct current stimulation for improving hemiparetic upper limb in patients with subacute stroke: study protocol for a randomised controlled trial[J]. *BMJ Open*, 2024, 14(2): e079372.
- [26] WANG C C, HU T M, LIN Y J, et al. Use of noninvasive brain stimulation and neurorehabilitation devices to enhance poststroke recovery: review of the current evidence and pitfalls[J]. *J Int Med Res*, 2024, 52(4): 3000605241238066.
- [27] 孙琦, 谢晶军. 上肢康复机器人对脑卒中患者上肢功能障碍的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2023, 45(9): 833–845.
- [28] 张雪婷, 周楠, 李晴. 针灸联合经颅直流电刺激治疗脑卒中伴认知障碍的随机对照试验[J]. *世界中医药*, 2024, 19(1): 52–56.
- [29] Marotta N, Demeco A, Moggio L, et al. The adjunct of transcranial direct current stimulation to robot-assisted therapy in upper limb post-stroke treatment[J]. *J Med Eng Technol*, 2021, 45(6): 494–501.
- [30] Comino-Suárez N, Moreno J C, Gómez-Soriano J, et al. Transcranial direct current stimulation combined with robotic therapy for upper and lower limb function after stroke: a systematic review and Meta-analysis of randomized control trials[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 148.
- [31] Bernal-Jiménez J J, Dileone M, Mordillo-Mateos L, et al. Combining transcranial direct current stimulation with hand robotic rehabilitation in chronic stroke patients: A double-blind randomized clinical trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2024, 103(10): 875–882.

收稿日期：2024–12–18

编辑：崔明瑞

(上接 739 页)

- [8] 孟苗苗, 罗旭飞, 倪小佳, 等. 脑卒中临床实践指南和专家共识的质量评价与优化建议[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2020, 12(11): 8.
- [9] 陈培荣, 马晓丹, 宋梅思, 等. 中文版 8 字步行测试评定脑卒中患者步行功能的信度及效度研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(6): 4.
- [10] 伍少玲, 燕铁斌, 马超, 等. 三种量表评定脑卒中急性期患者姿势控制能力的分析研究[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2006, 28(1): 39–41.
- [11] 兰月, 黄东锋, 胡昔权, 等. 脑卒中患者生活质量量表中文版信度研究[J]. *中国组织工程研究*, 2004, 8(28): 6009–6011.
- [12] 李京泽, 邢靖松, 吕福现, 等. 下肢康复机器人训练对脑卒中偏瘫患者步行功能的影响[J]. *机器人外科学杂志(中英文)*, 2023, 4(6): 512–516.
- [13] Takebayashi T, Takahashi K, Amano S, et al. Robot-assisted training as self-training for upper-limb hemiplegia in chronic stroke: A randomized controlled trial[J]. *Stroke*, 2022, 53(7): 2182–2191.
- [14] HU C, WANG X, PAN T L. Effect of acupuncture combined with lower limb gait rehabilitation robot on improving walking function in stroke patients with hemiplegia[J]. *NeuroRehabilitation*, 2024, 54(2): 309–317.
- [15] 张兰, 何建华, 杨振, 等. 可穿戴机器人改善脑卒中患者平衡及步行功能的疗效观察[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2024, 46(6): 529–533.
- [16] 毛珍芳, 蒋志强, 龙捷, 等. 下肢康复机器人在脑卒中伴重度偏瘫患者康复中的价值及其对不良心理的影响[J]. *中国医药导报*, 2023, 20(29): 78–82.
- [17] 洪雅晴, 刘铨权, 张清芳, 等. 下肢外骨骼机器人对脑卒中患者时空步态影响的 Meta 分析[J]. *中国康复*, 2023, 38(12): 739–747.
- [18] 解二康, 从洋洋, 王瑜元, 等. 基于下肢康复机器人的双任务训练对脑卒中患者下肢运动及步行能力的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2024, 46(2): 112–117.
- [19] Yakşi E, Bahadır E S, Yaşar M F, et al. The effect of robot-assisted gait training frequency on walking, functional recovery, and quality of life in patients with stroke[J]. *Acta Neurol Belg*, 2023, 123(2): 583–590.
- [20] Katoh D, Tanikawa H, Hirano S, et al. The effect of using Gait Exercise Assist Robot (GEAR) on gait pattern in stroke patients: a cross-sectional pilot study[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2020, 27(2): 103–109.
- [21] Takahashi Y, Okada K, Noda T, et al. Robotized knee-ankle-foot orthosis-assisted gait training on genu recurvatum during gait in patients with chronic stroke: A feasibility study and case report[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(2): 415.
- [22] 徐永伟, 樊利杰. 足下垂刺激器联合牵伸训练对脑卒中后足下垂患者足底压力、步态特征变化的影响[J]. *中国临床医生杂志*, 2024, 52(5): 559–563.
- [23] 李杰, 张大伟, 樊旭, 等. 本体感觉强化训练对脑卒中早期偏瘫患者步态及平衡能力的影响[J]. *医学临床研究*, 2023, 40(6): 937–940.
- [24] 崔莉茹, 王寒明, 谭建, 等. 动作观察疗法结合同步减重训练治疗对脑卒中患者步态和上肢功能恢复的影响[J]. *中国临床研究*, 2023, 36(3): 361–365, 379.
- [25] 王艳, 吴珊红, 宫子涵. 下肢外骨骼机器人系统改善脑卒中患者步行功能研究进展[J]. *中国现代神经疾病杂志*, 2023, 23(1): 22–28.
- [26] 吴雪娇, 彭广卫, 沈小花, 等. 本体感觉神经肌肉促进技术和下肢机器人对脑卒中后下肢运动和自动平衡功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(12): 1677–1682.
- [27] 刘陵鑫, 陈攀, 杨帅, 等. 下肢机器人训练联合呼吸训练对脑卒中患者肺功能及运动耐力的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2022, 37(8): 1063–1067.
- [28] 薛淇, 徐瑞泽, 刘畅, 等. 柔性外骨骼机器人联合常规康复治疗改善脑卒中偏瘫步态的 1 例报告[J]. *中国康复医学杂志*, 2024, 39(3): 432–435.
- [29] Sayin A M, Duruturk N, Balaban B, et al. The effect of robot-assisted walking in different modalities on cardiorespiratory responses and energy consumption in patients with subacute stroke[J]. *Neurol Res*, 2023, 45(7): 688–694.
- [30] Thimabut N, Yotnuengnit P, Charoenlimprasert J, et al. Effects of the robot-assisted gait training device plus physiotherapy in improving ambulatory functions in patients with subacute stroke with hemiplegia: An assessor-blinded, randomized controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2022, 103(5): 843–850.
- [31] 董延广, 王强, 张文娟, 等. 下肢外骨骼机器人联合踝关节康复训练对脑卒中后步行功能障碍患者步行功能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2024, 46(2): 118–122.
- [32] 王开, 刘倩, 金爱萍, 等. 国内外卒中患者机器人辅助步态训练文献的可视化分析[J]. *护士进修杂志*, 2022, 37(14): 7.

收稿日期：2025–01–17

编辑：崔明瑞