# 双靶点经颅直流电刺激对脑卒中后认知功能障碍的影响

薛夏琰[1,2],张思聪[1,2],郭清娟[1],王 璁[3,4],单春雷[1,3,4*]

1 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院,上海 200437;
2 上海中医药大学康复医学院,上海 201203;
3 上海交通大学医学院附属同仁医院,上海 200336;
4 上海交通大学医学院源申康复研究院,上海 200025
* 通信作者:单春雷,E-mail:shanclhappy@163.com

收稿日期:2025-12-15;接受日期:2026-02-16
基金项目:国家自然科学基金面上项目(82272612);上海市青年科技英才扬帆计划项目(21YF1448400);
国家中医药管理局高水平中医药重点学科建设项目(zyyzdxk-2023065)
DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.05004

**摘要** **目的** 观察双靶点经颅直流电刺激(tDCS)对脑卒中后认知障碍(PSCI)患者认知功能的影响。**方法** 选择2024年6月—2025年1月上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院康复医学科、针灸科病房及门诊收治的PSCI患者34例,采用随机数字表法分为对照组和观察组,每组17例。对照组1例主动退出,观察组1例因转院脱落,最终每组纳入16例。2组均接受常规康复治疗。观察组在常规康复治疗基础上接受双靶点tDCS治疗,阳极刺激靶点为患侧背外侧前额叶皮质(DLPFC)与患侧角回(AG),电流1.5 mA,20 min/次,1次/d,5次/周,连续治疗2周。对照组在常规康复治疗基础上接受单靶点tDCS,刺激靶点为DLPFC,其余刺激参数(强度、时间、电极规格与布置)同观察组。分别于治疗前后采用蒙特利尔认知评估量表(MoCA)评定整体认知功能;采用数字广度顺背测试(DST-F)和倒背测试(DST-B)评定工作记忆功能;采用连线测试A(TMT-A)和连线测试B(TMT-B)评定注意及执行功能。**结果** ① MoCA评分:与治疗前比较,2组治疗后MoCA评分均明显升高($P<0.05$)。2组治疗后MoCA评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$),观察组治疗前后MoCA评分差值明显高于对照组($P<0.05$)。② DST评分:与治疗前比较,2组治疗后DST-F评分均明显升高($P<0.05$),观察组治疗后DST-B评分明显升高($P<0.05$)。与对照组比较,观察组治疗前后DST-F评分差值、DST-B评分差值均明显更高($P<0.05$)。③ TMT完成时间:与治疗前比较,观察组治疗后TMT-A、TMT-B完成时间均明显缩短($P<0.05$)。与对照组比较,观察组治疗前后TMT-A、TMT-B完成时间差值均明显更大($P<0.05$)。**结论** 双靶点tDCS可有效改善PSCI患者的整体认知功能、工作记忆功能及注意和执行功能。

**关键词** 脑卒中后认知障碍;双靶点经颅直流电刺激;神经调控;认知功能;工作记忆功能;注意和执行功能

脑卒中是全球范围内导致死亡和残疾的主要疾病之一,尽管发病率趋于稳定,但在70岁以下人群中仍呈上升趋势,显示出年轻化趋势[1-2]。中国脑卒中疾病负担尤为沉重,每年新发病例近400万,病死率与致残率持续处于较高水平[3]。卒中后认知障碍(post-stroke cognitive impairment,PSCI)是脑卒中最常见的后遗症之一,约50%患者在发病1年内出现不同程度的认知损害,表现为记忆力、注意力及

引用格式:薛夏琰,张思聪,郭清娟,等. 双靶点经颅直流电刺激对脑卒中后认知功能障碍的影响[J]. 康复学报,2026,36(5):319-325,333.
XUE X Y,ZHANG S C,GUO Q J,et al. Effects of dual-target transcranial direct current stimulation on post-stroke cognitive impairment [J]. Rehabil Med,2026,36(5):319-325,333.
DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.05004
©《康复学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议 © *Rehabilitation Medicine*, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

执行功能下降等[4]，严重影响患者生活质量和康复效果，并增加脑卒中复发及死亡风险[5]。目前，PSCI治疗主要包括药物治疗与认知训练。尽管某些药物可能带来一定改善，但其疗效有限，证据不充分，且存在潜在毒副作用。传统认知康复训练虽有一定成效，但由于依从性差、个体差异大等因素，难以广泛应用。因此，亟需探索安全、简便、重复性强的治疗手段，以有效改善PSCI患者的认知功能。

经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation，tDCS)是一种通过调节神经元膜电位以诱导皮层兴奋性变化的非侵入性脑刺激技术，具有促进神经可塑性及改善神经网络功能的潜力。tDCS可在一定程度上改善PSCI患者的整体认知、注意、记忆和执行功能等多个维度[6-9]。但是，传统tDCS方案仍存在局限，其疗效存在明显个体差异，尤其在注意力和记忆功能方面，改善效果尚不明确[10]。这种差异可能源于单一靶点刺激难以调节多个相关脑区，限制了对复杂认知网络的整体调控能力[10]。因此，本研究运用双靶点tDCS策略治疗脑卒中认知障碍患者，取得良好疗效。

## 1　临床资料

### 1.1　诊断标准

参照《卒中后认知障碍管理专家共识2021》[11]有关PSCI的诊断标准。

### 1.2　病例选择标准

**1.2.1**　纳入标准　① 年龄18～80岁；② 右利手；③ 发病时间≥1个月，首次发病，病情稳定；④ 蒙特利尔认知评估量表(Montreal Cognitive Assessment，MoCA)评分≤26分；⑤ 具备基本语言沟通能力，无严重失语，生命体征平稳，能够配合完成评估与治疗；⑥ 患者及其家属均知情同意，签署知情同意书。

**1.2.2**　排除标准　① 存在脑卒中以外的其他颅脑疾病(如脑瘤、脑外伤、脑炎等)；② 既往颅脑手术史或严重头部外伤史；③ 颅内植入金属、人工耳蜗、心脏起搏器、引流管等tDCS禁忌证；④ 合并精神疾病、重度失语或严重听力障碍，无法完成评估；⑤ 合并心、肝、肾等重要器官功能严重障碍；⑥ 既往或当前存在物质滥用或妊娠。

**1.2.3**　中止和脱落标准　① 治疗过程中出现严重不良反应，如剧烈头痛、皮肤刺激严重等；② 受试者主动要求退出；③ 治疗期间出现新的卒中事件或认知功能明显恶化；④ 研究过程中违反试验方案。

### 1.3　一般资料

本研究以MoCA评分作为主要结局指标，采用2组总体均数假设检验，参考前期文献[12]，对照组和观察组治疗后MoCA评分均数分别为18.12和24.37，标准差为5.45。设定$\alpha=0.05$(双侧检验)，把握度$(1-\beta)$为0.8，2组样本量相等，采用PASS 2021软件进行样本量估计。

$$n1 = n2 = 2\left[\frac{(t_\alpha + t_\beta)s}{\delta}\right]^2$$

其中，$t_\alpha=1.96$，$t_\beta=0.84$，$s$=标准差，$\delta$=两均数的差值。

根据预设参数，采用PASS 2021软件中“Means”菜单下的“Two-Sample *T*-Tests Allowing Equal Variance”模块计算，得出2组最低样本量为13例。考虑到脱落率为20%，2组均纳入17例。

选择2024年6月—2025年1月在上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院康复医学科、针灸科及门诊部收治的34例PSCI患者，采用随机数字表法分为对照组和观察组，每组17例。对照组1例主动退出，观察组1例因转院脱落，最终每组各纳入16例。2组性别、年龄、病程、脑卒中类型及脑卒中部位等一般资料比较，差异均无统计学意义($P>0.05$)，具有可比性。见表1。本研究经上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院伦理委员会审查批准(审批号：2024-123)，所有受试者均签署知情同意书。

**表1　2组一般资料比较**

**Table 1　Comparison of general data between two groups**

| 组别 | 例数 | 性别 | | 年龄/ | 病程/ | 脑卒中类型 | | 脑卒中部位 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 男 | 女 | ($\bar{x}\pm s$，岁) | [$M(P_{25},P_{75})$，月] | 脑梗死 | 脑出血 | 左侧 | 右侧 |
| 对照组 | 16 | 10 | 6 | 63.94±8.72 | 25.0(7.5,55.5) | 10 | 6 | 6 | 10 |
| 观察组 | 16 | 14 | 2 | 69.44±6.96 | 12.0(4.3,38.0) | 12 | 4 | 7 | 9 |

## 2　方　法

### 2.1　治疗方法

**2.1.1**　常规康复治疗　2组均接受常规物理治疗和作业治疗。60 min/次，1次/d，5次/周，连续治疗2周。

**2.1.2**　观察组　接受双靶点tDCS治疗，电流强度

1.5 mA，20 min/次，1次/d，5次/周，连续治疗2周。

**2.1.2.1** 治疗前准备 准备2台经颅直流电刺激仪（美国Soterix公司，Soterix Medical 1×1型）；患者取坐位，置于安静环境中，由经过规范培训的专业人员实施操作。

首先，清洁tDCS电极接触区域的皮肤，去除乳液、污垢等，并让皮肤自然干燥。检查橡胶电极片和海绵垫片是否存在磨损。若发现任何老化或损坏，应丢弃有问题的配件并更换新电极。所用海绵垫尺寸为5 cm×7 cm，每片海绵使用4 mL 0.9% NaCl溶液充分浸透，注意避免过度浸泡导致液体渗漏至受试者皮肤。随后，将橡胶电极片完全插入海绵垫内，使用弹性固定带将电极牢固固定于治疗部位。操作时，先从电极中心轻压，再向边缘平滑压实，以确保电极与皮肤接触平整均匀，并避免橡胶电极片直接接触皮肤。治疗全程由专业人员观察皮肤状况及患者主观反应，以保障治疗安全与患者依从性。

**2.1.2.2** 治疗过程 采用2台tDCS设备分别对2个靶点进行阳极刺激。2块阳极电极分别放置于患侧背外侧前额叶皮质（dorsolateral prefrontal cortex，DLPFC）与患侧角回（angular gyrus，AG），电极位置参考国际10-20系统放置，分别对应F3/F4和P3/P4；阴极电极统一放置于健侧肩部。电极摆放见图1。2个阳极同时通电，电流强度均为1.5 mA，治疗20 min/次。

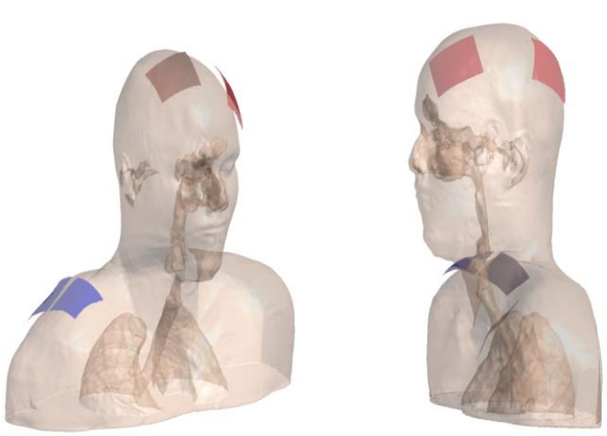

**图1 电极摆放位置示意图**

**Figure 1 Illustration of electrode placement**

**2.1.3** 对照组 在常规治疗基础上进行单靶点tDCS。对DLPFC区域（F3/F4）施加阳极真刺激，刺激参数（强度、时间、电极规格与位置）与观察组相同。对AG区域（P3/P4）施加假刺激，假刺激参数设置如下：在设备中将AG通道设置为“Sham模式”，刺激启动时电流在30 s内缓慢上升至1.5 mA，随后在30 s内下降至0 mA，在后续治疗时间内不再输出电流。此方法可产生短暂的电刺激感觉，模拟真刺激的体感反馈，从而在感知层面实现盲法。治疗结束前30 s重复相同的电流上升与下降过程，以维持体验的一致性。

为保证操作流程和技术的一致性，2组所有治疗均由同一名经过培训的治疗师完成，尽可能降低潜在的实施偏倚。此外，为避免受试者的期望效应对研究结果产生影响，对受试者分组情况采用盲法。由于治疗性质，tDCS的实施由非盲治疗师负责，该治疗师知晓受试者接受的是双靶点刺激或单靶点刺激。结局评估则由不知晓受试者分组情况的临床评估人员独立完成。所有受试者均以唯一的研究编号进行标识，评估数据记录过程中不涉及组别信息，以确保结果的客观性。数据分析由独立数据分析员完成，该分析员对受试者分组情况不知情，仅处理去标识化数据，以保证分析过程的公正性和科学性。

### 2.2 观察指标

治疗前后均由同一名经过专业培训的康复评定医师进行以下指标评估。

**2.2.1** 整体认知功能 采用MoCA评估受试者的整体认知功能，总分30分，通常以26分作为认知功能障碍的临界值[13]。该量表涵盖7个认知领域：

**2.2.1.1** 视空间与执行功能 通过立方体复制和画钟测试进行评估，满分为5分。

**2.2.1.2** 注意力 包含数字顺背、倒背、字母识别和连续减法任务，满分为6分。

**2.2.1.3** 记忆评估 包括即时和延迟记忆能力，满分为5分。

**2.2.1.4** 语言 通过命名和句子重复测试语言功能，满分为6分。

**2.2.1.5** 抽象思维 使用类比测试评估抽象思维，满分为2分。

**2.2.1.6** 定向能力 涉及对时间与地点的认知，满分为6分。

**2.2.2** 工作记忆功能 采用数字广度测试（Digit Span Test，DST）评估受试者的工作记忆功能。DST是神经心理学中用于评估工作记忆能力的经典任务[14]，包含顺背测试（Digit Span Test Forward，DST-F）和倒背测试（Digit Span Test Backward，DST-B）2个子项。顺背测试要求受试者按照呈现顺序重复

数字序列，反映其短时记忆容量与注意力水平；倒背测试则要求受试者以逆序重复数字，用于衡量执行控制与工作记忆能力。任务难度随数字长度的增加而逐渐提升，受试者能够正确复述的最长数字序列长度被记录为其最终得分。

**2.2.3** 注意和执行功能　采用连线测试（Trail Making Test，TMT）评估受试者的注意和执行功能。TMT是评估注意力维持、处理速度、执行功能和认知灵活性的常用测验[15]，包含TMT-A和TMT-B 2个部分。TMT-A要求受试者依次连接页面上散布的数字，反映其视觉搜索、注意力及运动速度；TMT-B则在此基础上增加任务转换要求，需交替连接数字和字母；在中文版测试中，改为交替连接圆圈数字和方块数字[16]，以增加对认知灵活性、任务切换与执行控制能力的考察。

### 2.3　统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。计量资料服从正态分布以（$\bar{x}\pm s$）表示，组内比较采用配对样本$t$检验，组间比较采用两独立样本$t$检验；不服从正态分布则以$M(P_{25},P_{75})$表示，组内比较采用Wilcoxon检验，组间比较采用Mann-Whitney $U$检验。计数资料以例数表示，采用$\chi^2$检验。$P<0.05$为差异具有统计学意义。

## 3　结　果

### 3.1　2组治疗前后MoCA评分比较

与治疗前比较，2组治疗后MoCA评分均明显升高（$P<0.05$）。2组治疗后MoCA评分比较，差异无统计学意义（$P>0.05$），观察组治疗前后MoCA评分差值明显高于对照组（$P<0.05$）。见表2。

**表2　2组治疗前后MoCA评分比较[（$\bar{x}\pm s$）/$M(P_{25},P_{75})$]**　分

**Table 2　Comparison of MoCA scores between two groups before and after treatment [（$\bar{x}\pm s$）/$M(P_{25},P_{75})$]**　Scores

| 组别 | 例数 | 治疗前 | 治疗后 | 治疗前后差值 |
|---|---|---|---|---|
| 对照组 | 16 | 21.00±5.62 | 23.63±5.34[1)] | 2.50(2.00,3.75) |
| 观察组 | 16 | 18.75±5.41 | 25.81±4.32[1)] | 6.50(5.00,9.00)[2)] |

注：与治疗前比较，1）$P<0.05$；与对照组比较，2）$P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the control group, 2) $P<0.05$.

### 3.2　2组治疗前后DST评分比较

与治疗前比较，2组治疗后DST-F评分均明显升高（$P<0.05$），观察组治疗后DST-B评分明显升高（$P<0.05$）。与对照组比较，观察组治疗前后DST-F评分差值、DST-B评分差值均明显更高（$P<0.05$）。见表3。

**表3　2组治疗前后DST评分比较[（$\bar{x}\pm s$）/$M(P_{25},P_{75})$]**　分

**Table 3　Comparison of DST scores between two groups before and after treatment [（$\bar{x}\pm s$）/$M(P_{25},P_{75})$]**　Scores

| 组别 | 例数 | DST-F评分 | | DST-F评分差值 | DST-B评分 | | DST-B评分差值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 治疗前 | 治疗后 | | 治疗前 | 治疗后 | |
| 对照组 | 16 | 6.06±1.53 | 7.25±1.13[1)] | 1.00(0.00,2.00) | 3.75±1.18 | 4.06±1.24 | 0.50(-0.75,1.00) |
| 观察组 | 16 | 5.19±1.38 | 7.38±1.67[1)] | 2.00(1.25,3.00)[2)] | 3.19±1.22 | 4.88±1.75[1)] | 1.50(1.00,2.00)[2)] |

注：与治疗前比较，1）$P<0.05$；与对照组比较，2）$P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the control group, 2) $P<0.05$.

### 3.3　2组治疗前后TMT完成时间比较

与治疗前比较，观察组治疗后TMT-A、TMT-B完成时间均明显缩短，差异均具有统计学意义（$P<0.05$）。与对照组比较，观察组治疗前后TMT-A、TMT-B完成时间差值均明显更大，差异均具有统计学意义（$P<0.05$）。见表4。

表4　2组治疗前后TMT完成时间比较[$M(P_{25},P_{75})$]　s

Table 4　Comparison of TMT times between two groups before and after treatment [$M(P_{25},P_{75})$]　s

| 组别 | 例数 | TMT-A完成时间 | | TMT-A完成时间差值 |
|---|---|---|---|---|
| | | 治疗前 | 治疗后 | |
| 对照组 | 16 | 85.40(50.26,117.70) | 75.54(26.57,115.58) | -11.45(-25.04,-8.23) |
| 观察组 | 16 | 137.66(56.75,213.75) | 75.72(30.14,99.70)[1)] | -45.34(-99.83,-19.46)[2)] |

| 组别 | 例数 | TMT-B完成时间 | | TMT-B完成时间差值 |
|---|---|---|---|---|
| | | 治疗前 | 治疗后 | |
| 对照组 | 16 | 101.71(56.01,157.66) | 78.13(39.14,179.59) | -19.83(-39.87,3.05) |
| 观察组 | 16 | 151.32(81.08,293.40) | 101.55(41.56,167.18)[1)] | -53.48(-108.93,-24.41)[2)] |

注：与治疗前比较，1）$P<0.05$；与对照组比较，2）$P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the control group, 2) $P<0.05$.

## 4　讨　论

### 4.1　双靶点tDCS可改善PSCI患者整体认知功能

本研究结果显示，与对照组比较，观察组治疗前后MoCA评分差值明显高于对照组，提示双靶点tDCS可改善PSCI患者整体认知功能。可能与以下原因有关：① 双靶点tDCS可增强皮质可塑性。阳极tDCS可提高PSCI患者局部皮质神经元的兴奋性，从而增强皮质可塑性[17-18]。本研究进行了10次tDCS治疗，重复刺激可产生累积效应，可调节长时程增强或抑制，促进神经功能的持续性重塑[18]。② 双靶点tDCS可增强前额叶皮质的激活水平。前额叶功能受损被认为是脑卒中后认知功能下降的重要机制之一[19]。DLPFC作为前额叶皮质的重要组成部分，是认知控制网络的关键枢纽，在执行功能、注意及工作记忆等多个认知领域中发挥核心作用[20]。双靶点tDCS刺激该区域可增强前额叶皮质的激活水平[19]，从而促进认知功能恢复。③ 双靶点tDCS可增强脑区间的功能连接。AG是默认模式网络的重要节点[21-23]。研究表明，包含AG在内的默认模式网络连接增强，可能协同参与认知功能的恢复[24]。本研究采用双靶点tDCS刺激前额叶DLPFC和AG这2个关键认知节点，可能通过协同调节前额-顶叶网络（frontoparietal network，FPN）的功能连接，促进网络重建并提升其效率，从而提高认知功能。这与前期研究结果相似，即tDCS可通过增强脑区间功能连接，提高脑网络整体效率和皮质激活水平，有助于双侧脑半球功能连接重建，从而提高整体认知功能[24-25]。

### 4.2　双靶点tDCS改善PSCI患者工作记忆功能

本研究结果显示，与对照组比较，观察组治疗前后DST-F及DST-B评分差值均明显更高，这提示双靶点tDCS可改善PSCI患者工作记忆功能。可能与以下原因有关：① 双靶点tDCS可增强局部皮质兴奋性。研究表明，AG在信息整合及工作记忆加工过程中发挥重要作用，急性缺血性脑卒中患者的工作记忆缺陷与AG的结构或功能损伤密切相关[26]。对AG区进行双靶点tDCS治疗，可提高局部皮质的兴奋性，增强其在认知加工中的作用，并可增强AG与海马区的功能连接，从而提高PSCI患者记忆整合能力。这与BONNER等[27-28]研究结果相似。② 双靶点tDCS可增强顶叶与前额叶之间的功能连接。前额叶主要参与自上而下的认知控制，顶叶则参与信息存储及注意资源分配，两者间功能连接的增强可促进高负荷工作记忆任务的表现[29]。双靶点tDCS同时作用于前额叶和顶叶，可能通过增强顶叶与前额叶之间的功能连接，促进FPN的协同活动，提高工作记忆能力。这与ZHENG等[29-30]研究结果相似。

但是，并非所有针对前额叶和顶叶的双靶点刺激均可改善工作记忆。有研究采用皮质-皮质配对关联刺激靶向作用于前额叶与顶内沟，结果显示，其虽可改善决策策略，但对工作记忆未产生明显影响[31]。这表明，FPN的不同节点及不同刺激方式可能对应不同的认知功能调控效应。其潜在机制可能与顶叶不同亚区的功能差异有关。顶内沟主要参与注意分配及空间加工，而AG作为默认模式网络的重要节点，更侧重于多模态信息整合及高级认知加工，包括工作记忆[32]。与刺激顶内沟相比，刺激AG可能更直接增强信息整合能力，从而改善工作记忆表现，尤其在高负荷任务中更为明显。

### 4.3　双靶点tDCS可改善PSCI患者注意和执行功能

本研究结果表明，与对照组比较，观察组治疗

前后TMT-A、TMT-B完成时间差值均明显更大，提示双靶点tDCS可改善PSCI患者注意和执行功能。其机制可能与以下因素有关：① 双靶点tDCS促进FPN的协同调控。DLPFC主要参与自上而下的注意调控，顶叶则参与自下而上的注意定向，两者共同调控注意资源的分配过程[33-34]。TMT任务的完成依赖于注意资源分配、信息加工速度及工作记忆等多种认知过程。双靶点tDCS同步刺激DLPFC和AG区，可增强该网络的功能连接，对FPN起协同调控作用。这与PECCHINENDA等[35-36]研究结果一致。② 双靶点tDCS提高注意资源的有效分配和信息加工效率。TMT-A主要反映注意能力及信息加工速度，而角回相关功能连接与注意、执行功能密切相关。角回是默认模式网络的重要节点[32]，在大尺度脑网络整合与认知加工中起关键作用，其功能连接变化与反应时间密切相关[37-38]。双靶点tDCS可调节角回相关网络，提高注意资源的有效分配和信息加工效率。此外，双靶点tDCS可提高PSCI患者认知灵活性及任务转换能力，这使得受试者可以在不同规则之间进行TMT-B任务切换。这与REINEBERG等[39]研究结果一致。

## 5 小 结

双靶点tDCS可有效改善PSCI患者整体认知功能、工作记忆功能、注意和执行功能。但本研究仍存在一定局限性，如样本量较小、未设立空白对照组、未对病灶及病程进行分层分析、缺乏神经影像学验证及未开展随访等。未来研究可通过扩大样本量、开展多中心临床随机对照试验、加强出院后随访，并结合神经影像技术探讨双靶点tDCS治疗PSCI患者可能的作用机制，以期为双靶点tDCS治疗PSCI患者提供更科学的依据。

## 参考文献


[1] FEIGIN V L, BRAININ M, NORRVING B, et al. World Stroke Organization (WSO): global stroke fact sheet 2022 [J]. Int J Stroke, 2022, 17(1): 18-29.

[2] GBD 2016 Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death, 1980-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 [J]. Lancet, 2017, 390(10100): 1151-1210.

[3] WANG Y J, LI Z X, GU H Q, et al. China stroke statistics: an update on the 2019 report from the National Center for Healthcare Quality Management in Neurological Diseases, China National Clinical Research Center for Neurological Diseases, the Chinese Stroke Association, National Center for Chronic and Non-Communicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention and Institute for Global Neuroscience and Stroke Collaborations [J]. Stroke Vasc Neurol, 2022, 7(5): 415-450.

[4] WEAVER N A, KUIJF H J, ABEN H P, et al. Strategic infarct locations for post-stroke cognitive impairment: a pooled analysis of individual patient data from 12 acute ischaemic stroke cohorts [J]. Lancet Neurol, 2021, 20(6): 448-459.

[5] CHEN C, LEYS D, ESQUENAZI A. The interaction between neuropsychological and motor deficits in patients after stroke [J]. Neurology, 2013, 80(S2): S27-S34.

[6] CAPPON D, JAHANSHAHI M, BISIACCHI P. Value and efficacy of transcranial direct current stimulation in the cognitive rehabilitation: a critical review since 2000 [J]. Front Neurosci, 2016, 10: 157.

[7] YUN G J, CHUN M H, KIM B R. The effects of transcranial direct-current stimulation on cognition in stroke patients [J]. J Stroke, 2015, 17(3): 354-358.

[8] KAZUTA T, TAKEDA K, OSU R, et al. Transcranial direct current stimulation improves audioverbal memory in stroke patients [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2017, 96(8): 565-571.

[9] AHMAD HOSSEINZADEH S, MAZHARI S, NAJAFI K, et al. Anodal transcranial direct current stimulation enhances positive changes in movement functions, visual attention and depression of patients with chronic ischemic stroke: a clinical trial [J]. Biomed Res Ther, 2018, 5(11): 2841-2849.

[10] ZHAO J, MENG Q, QI S, et al. Effect of non-invasive brain stimulation on post-stroke cognitive impairment: a meta-analysis [J]. Front Neurol, 2024, 15: 1424792.

[11] 中国卒中学会血管性认知障碍分会. 卒中后认知障碍管理专家共识2021[J]. 中国卒中杂志, 2021, 16(4): 376-389.
Chinese Society of Vascular Cognitive Impairment. Experts consensus on post-stroke cognitive impairment management 2021 [J]. Chin J Stroke, 2021, 16(4): 376-389.

[12] HU W Q, WANG X, LI X Y, et al. Effect of transcranial direct current stimulation combined with Donepezil on stroke patients with memory impairment [J]. Pak J Med Sci, 2023, 39(3): 898-901.

[13] ZUO L J, DONG Y H, LIAO X L, et al. Low HALP (hemoglobin, albumin, lymphocyte, and platelet) score increases the risk of post-stroke cognitive impairment: a multicenter cohort study [J]. Clin Interv Aging, 2024, 19: 81-92.

[14] SLAVIN S J, MCCUNE-RICHARDSON L, MOORE J, et al. Cognitive testing during mild acute ischemic stroke predicts long-term return to work [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2022, 31(1): 106132.

[15] NISHIMURA A, SUTOKO S, KIGUCHI M, et al. Projection of damaged visual and language regions on low trail making test part-B performance in stroke patients [J]. Front Neurol, 2022, 13: 853942.

[16] WEI M Q, SHI J, LI T, et al. Diagnostic accuracy of the Chinese Version of the Trail-Making Test for screening cognitive impairment [J]. J Am Geriatr Soc, 2018, 66(1): 92-99.

[17] MARSON F, LASAPONARA S, CAVALLO M. A scoping review of neuromodulation techniques in neurodegenerative diseases: a useful tool for clinical practice? [J]. Medicina, 2021, 57(3): 215.

[18] QANBARI S, KHANMOHAMMADI R, OLYAEI G, et al. Effects of combining sensory-motor exercises with transcranial direct current stimulation on cortical processing and clinical symptoms in patients with lumbosacral radiculopathy: an exploratory randomized controlled trial [J]. PLoS One, 2024, 19(12): e0314361.

[19] HUANG K Q, YANG C H, XIN R, et al. Transcranial direct current stimulation alleviates cognitive impairment and neurological dysfunction after stroke: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. Brain Netw Modul, 2024, 3(1): 20-28.

[20] KO M H, YOON J Y, JO Y J, et al. Home-based transcranial direct current stimulation to enhance cognition in stroke: randomized controlled trial [J]. Stroke, 2022, 53(10): 2992-3001.

[21] HUMPHREYS G F, HOFFMAN P, VISSER M, et al. Establishing task- and modality-dependent dissociations between the semantic and default mode networks [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2015, 112(25): 7857-7862.

[22] IGELSTRÖM K M, GRAZIANO M S A. The inferior parietal lobule and temporoparietal junction: a network perspective [J]. Neuropsychologia, 2017, 105: 70-83.

[23] XU Y W, LIN Q X, HAN Z Z, et al. Intrinsic functional network architecture of human semantic processing: modules and hubs [J]. NeuroImage, 2016, 132: 542-555.

[24] ZHONG J L, JING X S, LIANG Y, et al. The impact of transcranial direct current stimulation on brain network connectivity and topology in post-stroke cognitive impairment patients: a resting-state fMRI study [J]. Neurol Sci, 2025, 46(10): 5211-5219.

[25] YANG C H, ZHANG T Y, HUANG K Q, et al. Increased both cortical activation and functional connectivity after transcranial direct current stimulation in patients with post-stroke: a functional near-infrared spectroscopy study [J]. Front Psychiatry, 2022, 13: 1046849.

[26] NEWHART M, TRUPE L A, GOMEZ Y, et al. Asyntactic comprehension, working memory, and acute ischemia in Broca′s area *versus* angular gyrus [J]. Cortex, 2012, 48(10): 1288-1297.

[27] BONNER M F, PEELLE J E, COOK P A, et al. Heteromodal conceptual processing in the angular gyrus [J]. NeuroImage, 2013, 71: 175-186.

[28] WANG J X, ROGERS L M, GROSS E Z, et al. Targeted enhancement of cortical-hippocampal brain networks and associative memory [J]. Science, 2014, 345(6200): 1054-1057.

[29] ZHENG S W, ZHANG Y F, HUANG K, et al. Temporal interference stimulation boosts working memory performance in the frontoparietal network [J]. Hum Brain Mapp, 2025, 46(3): e70160.

[30] OTSTAVNOV N, NIETO-DOVAL C, GALLI G, et al. Frontoparietal brain network plays a crucial role in working memory capacity during complex cognitive task [J]. eneuro, 2024, 11(8): ENEURO. 0394-23. 2024.

[31] NORD C L, POPA T, SMITH E, et al. The effect of frontoparietal paired associative stimulation on decision-making and working memory [J]. Cortex, 2019, 117: 266-276.

[32] VATANSEVER D, MANKTELOW A E, SAHAKIAN B J, et al. Angular default mode network connectivity across working memory load [J]. Hum Brain Mapp, 2017, 38(1): 41-52.

[33] CHIU Y C, EGNER T. Cortical and subcortical contributions to context-control learning [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2019, 99: 33-41.

[34] ZHANG Q Z, LI W J, ZHANG T T, et al. Representation of top-down *versus* bottom-up attention in the right dorsolateral prefrontal cortex and superior parietal lobule [J]. Behav Brain Funct, 2025, 21(1): 31.

[35] PECCHINENDA A, DE LUCA F, MONACHESI B, et al. Contributions of the right prefrontal and parietal cortices to the attentional blink: a tDCS study [J]. Symmetry, 2021, 13(7): 1208.

[36] NIKOLIN S, LAUF S, LOO C K, et al. Effects of high-definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS) of the intraparietal sulcus and dorsolateral prefrontal cortex on working memory and divided attention [J]. Front Integr Neurosci, 2019, 12: 64.

[37] MOSS J, SCHUNN C D. Comprehension through explanation as the interaction of the brain′s coherence and cognitive control networks [J]. Front Hum Neurosci, 2015, 9: 562.

[38] YI X P, WANG X Y, FU Y, et al. Altered resting-state functional connectivity and its association with executive function in adolescents with borderline personality disorder [J]. Eur Child Adolesc Psychiatry, 2024, 33(6): 1721-1730.

[39] REINEBERG A E, ANDREWS-HANNA J R, DEPUE B E, et al. Resting-state networks predict individual differences in common and specific aspects of executive function [J]. NeuroImage, 2015, 104: 69-78.

(下转第333页)