

经颅直流电刺激对脑卒中患者下肢运动功能影响的Meta分析



刘语嫣, 孙羽健, 孙 丹, 赵 慧, 龙 雨, 于琼阁, 温宇航, 贾秋枫, 余雨枫

成都中医药大学护理学院 (成都 610075)

【摘要】目的 系统评价经颅直流电刺激 (transcranial direct current stimulation, tDCS) 对脑卒中患者下肢运动功能的应用效果。**方法** 计算机检索 PubMed、Embase、Web of Science、the Cochrane Library、Scopus、中国知网、万方、维普、中国生物医学文献数据库 (CBM)、Clinical Trials 及中国临床试验注册中心中有关 tDCS 对脑卒中患者下肢功能干预的随机对照试验, 检索时限为建库至 2024 年 3 月。采用 Stata 17 和 Revman 5.4 软件进行 Meta 分析。**结果** 共纳入 21 篇文献, 包含 1 079 例脑卒中患者。Meta 分析结果显示, 与常规康复相比, tDCS 能够改善脑卒中患者的下肢运动功能 [WMD=1.99, 95%CI (1.14, 2.84), $P < 0.001$] 及日常生活活动能力 [SMD=0.90, 95%CI (0.63, 1.16), $P < 0.001$]。亚组分析结果显示, 双侧刺激 [WMD=2.37, 95%CI (0.92, 3.82), $P < 0.001$]、干预周期 > 2 周 [WMD=2.31, 95%CI (0.98, 3.63), $P < 0.001$] 效果更显著。**结论** tDCS 能够改善脑卒中患者的下肢运动功能及日常生活活动能力, 建议采用双侧刺激, 干预周期至少 2 周。

【关键词】 脑卒中; 经颅直流电刺激; 下肢; 运动功能; Meta 分析

【中图分类号】 R 743.3 **【文献标识码】** A

Effect of transcranial direct current stimulation on lower extremity motor function in stroke patients: a Meta-analysis

LIU Yuyan, SUN Yujian, SUN Dan, ZHAO Hui, LONG Yu, YU Qiongge, WEN Yuhang, JIA Qiufeng, YU Yufeng

School of Nursing, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China

Correspondence: YU Yufeng, Email: 19902026@cdutcm.edu.cn

【Abstract】Objective To systematically evaluate the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on lower extremity motor function in stroke patients. **Methods** Randomized controlled trials of tDCS for lower extremity motor function in stroke patients were searched in PubMed, Embase, Web of Science, the Cochrane Library, Scopus, CNKI, WanFang Data, VIP, CBM, Clinical Trials and Chinese Clinical Trial Registry from the establishment of the databases to March 2024. Stata 17 and Revman 5.4 softwares were used for Meta-analysis. **Results** A total of 21 researches were included, including 1 079 stroke patients. The results of the Meta-analysis showed that compared with conventional rehabilitation measures, tDCS can improve lower extremity motor function [WMD=1.99, 95%CI (1.14, 2.84), $P < 0.001$] and activities of daily living [SMD=0.90, 95%CI (0.63, 1.16), $P < 0.001$] in stroke patients. The results of subgroup analysis showed that stroke

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202408137

通信作者: 余雨枫, 副教授, 硕士研究生导师, Email: 19902026@cdutcm.edu.cn

<https://slyyx.whuznhmedj.com/>

patients who accept bilateral stimulation [WMD=2.37, 95%CI (0.92, 3.82), $P<0.001$] and whose intervention period>2 weeks [WMD=2.31, 95%CI (0.98, 3.63), $P<0.001$] had more improvement. **Conclusion** tDCS can improve the lower extremity motor function and activities of daily living in stroke patients. Bilateral stimulation and intervention period of at least 2 weeks are recommended.

【Keywords】 Stroke; Transcranial direct current stimulation; Lower extremity; Motor function; Meta-analysis

脑卒中是我国成年人死亡和残疾的首要原因,具有高发病率、高致残率、高死亡率、高复发率、高经济负担五大特点^[1]。全球疾病负担(global burden of disease, GBD)研究结果显示,我国脑卒中患者约 2 876 万,居世界首位,约 80% 的患者遗留不同程度的下肢运动功能障碍,卒中是我国伤残调整生命年(disability-adjusted life years, DALYs)的首位原因^[2-3]。下肢运动功能障碍作为脑卒中常见的后遗症,不仅会延缓脑卒中患者的康复进程,还会增加脑卒中后跌倒的发生风险^[4]。一旦患者发生跌倒,可能导致大脑的二次出血或梗死,并可能伴有身体其他部位的骨折,严重影响其日常生活活动能力(activity of daily living, ADL),降低生活质量。因此,及时、有效的康复治疗对降低脑卒中患者的伤残率至关重要。

近年来,随着神经科学和康复医学的发展,一些新兴的治疗方法逐渐应用于临床实践,为脑卒中患者提供了更多的康复选择。经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)是一种非侵入性脑刺激技术,能够通过施加不同电流而自发调节神经元网络活动^[5],具有安全性、经济性、易操作性等优势,具有广阔的应用前景。目前已有一些研究^[6-8]探讨 tDCS 对下肢功能的潜在疗效,但不同刺激方式对脑卒中患者下肢运动功能的疗效尚存争议。本研究旨在通过 Meta 分析,系统评价 tDCS 对脑卒中患者下肢运动功能的康复效果,以为脑卒中患者的康复训练提供参考。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

1.1.1 纳入标准

①研究对象:年龄 ≥ 18 岁,经头颅计算机断层扫描(computed tomography, CT)或磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)确诊为脑卒中;②干预措施:tDCS 联合常规康复;③对照

措施:常规康复(作业治疗、物理治疗等)或假 tDCS;④结局指标:下肢运动功能(包括 Fugl-Meyer 下肢量表、起立行走计时测试、Berg 平衡测试)与 ADL(包括 Barthel 指数、改良 Barthel 指数);⑤研究类型:随机对照试验(randomized controlled trial, RCT);⑥中、英文文献。

1.1.2 排除标准

①重复发表;②无法提取数据或数据报告不全;③综述、Meta 分析、会议论文、动物实验;④无法获取全文。

1.2 文献检索策略

计算机检索 PubMed、Embase、Web of Science、the Cochrane Library、Scopus、中国知网、万方、维普、中国生物医学文献数据库(CBM)、Clinical Trials 及中国临床试验注册中心,检索时限为建库至 2024 年 3 月。采用主题词与自由词相结合的检索方式,并追溯相关参考文献。中文检索词包括卒中、脑卒中、中风、经颅直流电刺激、下肢功能等,英文检索词包括 stroke、cerebrovascular accident、vascular accident、apoplexy、transcranial direct current stimulation、tDCS、lower extremity、motor function、randomized controlled trial 等。

1.3 文献筛选及数据提取

两名研究人员独立筛选文献并交叉核对,如有分歧则与第三名研究人员协商。使用 Endnote X9 软件去重,按标准筛选文题及摘要,随后阅读全文剔除不合格文献。采用统一的资料提取表提取数据,包括作者、年份、国家、样本量、年龄、卒中类型、干预措施、测评工具等。

1.4 文献质量评价

两名研究人员使用 Cochrane 偏倚风险评估手册 5.1.0 版^[9]进行评价。若全部条目为“低风险”,则评为 A 级;若部分条目为“高风险”,则评为 B 级;若全部条目为“高风险”,则评为 C 级。如有分歧,与第三名研究人员协商后裁定。

1.5 统计分析

采用 Stata 17 和 Revman 5.4 软件进行统计分析，纳入的原始研究数据均为连续性变量，若测量方法或单位不同，采用标准化均数差（standardized mean difference, SMD），反之采用加权均数差（weighted mean difference, WMD）。采用 Q 检验及 I^2 值^[10] 判断异质性，若 $P < 0.1$ 、 $I^2 \geq 50\%$ ，采用随机效应模型；反之，则采用固定效应模型。采用亚组分析和（或）敏感性分析探索异质性来源。采用 Egger 检验^[11] 评价发表偏倚，若 $P < 0.05$ ，则提示存在发表偏倚。采用逐一剔除法进行敏感性分析。

2 结果

2.1 文献检索结果及流程

初步检索获得文献 2 475 篇，最终纳入 21 篇文献^[6-8, 12-29]。文献筛选流程见图 1。

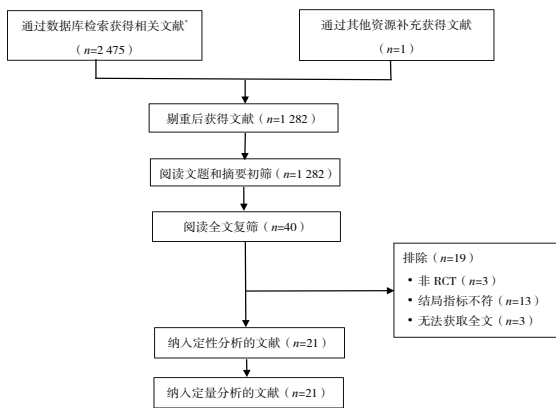


图1 文献筛选流程图

Figure 1. Flowchart of literature screening

注：*检索的数据库及具体文献检出数为中国知网（ $n=331$ ）、万方（ $n=358$ ）、维普（ $n=143$ ）、CBM（ $n=238$ ）、PubMed（ $n=119$ ）、Embase（ $n=249$ ）、the Cochrane Library（ $n=448$ ）、Web of Science（ $n=322$ ）、Scopus（ $n=267$ ）。

2.2 纳入文献基本特征

21 篇文献共包含 1 079 例研究对象，其中干预组 580 例、对照组 499 例。纳入文献的基本特征见表 1。

2.3 文献质量评价

纳入的 21 篇文献基线均可比，7 篇文献^[6, 13, 15-16, 22, 26, 28] 未具体说明随机分配方法，9 篇文献^[6-8, 13-16, 18, 28] 未描述分配隐藏方案，2 篇文献^[7-8] 因样本量过小故其他偏倚评定为高风险。总体而言，8 篇文献质量为 A 级，其余 13 篇文献质量为 B 级，文献质量总体较高，见图 2。

表1 纳入文献基本特征

Table 1. Characteristics of included literature

纳入文献	国家	组别	样本量 [合计 (男/女)]	年龄 [均数 (标准差)]	卒中类型 (I/H)	干预措施	刺激参数 (A/L)	干预时间	结局指标
Klomjai 2018 ^[6]	泰国	T	19 (14/5)	57.20 (12.20)	19	双侧tDCS+常规康复	2 mA/20 min	1 w	②
		C	19 (14/5)	57.20 (12.20)	19	假tDCS+常规康复	2 mA/120 s		
Utarapichat 2018 ^[7]	泰国	T	10 (6/4)	57.10 (12.20)	10	阳极tDCS	2 mA/10 min	2 w	②
		C	10 (6/4)	57.10 (12.20)	10	假tDCS	2 mA/20 s		
Ubalde 2020 ^[8]	美国	T	10 (6/4)	58.20 (9.55)	10	阳极tDCS+常规康复	2 mA/20 min	2 w	③
		C	10 (6/4)	58.20 (9.55)	10	假tDCS+常规康复	2 mA/30 s		
董柯2021 ^[12]	中国	T1	10 (6/4)	54.10 (7.31)	8/2	双侧tDCS与常规康复同时进行	2 mA/30 min	2 w	②③
		T2	10 (8/2)	55.30 (5.54)	7/3	双侧tDCS之后再常规康复	2 mA/30 min		
范小艳2014 ^[13]	中国	C	10 (7/3)	52.30 (5.03)	8/2	假tDCS+常规康复	2 mA/20 s	4 w	④
		T	41 (28/13)	58.79 (8.52)	18/23	阳极tDCS+常规康复	0.5 mA/20 min		
陈勇2023 ^[14]	中国	C	34 (22/12)	58.61 (8.12)	15/19	常规康复			
		T	60 (35/25)	65.34 (10.27)	-	双侧tDCS+常规康复	2 mA/15 min	12 w	⑤
王晓兰2018 ^[15]	中国	C	60 (36/24)	66.12 (11.07)	-	常规康复			
		T	28	56.60 (12.30)	28	双侧tDCS+常规康复	1.4 mA/20 min	4 w	④
		C	28	56.60 (12.30)	28	假tDCS+常规康复	1.4 mA/30 s		

续表1

纳入文献	国家	组别	样本量 [合计 (男/女)]	年龄 [均值 (标准差)]	卒中类型 (I/H)	干预措施	刺激参数 (A/L)	干预时间	结局指标
马贤聪2018 ^[6]	中国	T	32 (11/20)	60.59 (11.60)	-	双侧tDCS+常规康复	2 mA/20 min	4 w	①⑤
		C	33 (18/15)	60.85 (10.91)	-	常规康复			
李文会2024 ^[7]	中国	T	50 (28/22)	61.49 (10.51)	30/20	双侧tDCS+常规康复	1 mA/20 min	6 w	①④
		C	50 (27/23)	58.77 (14.30)	28/22	常规康复			
陈燕2022 ^[18]	中国	T1	20 (12/8)	62.70 (2.60)	20	阴极tDCS+常规康复	1~2 mA/20 min	2 w	⑤
		T2	20 (13/7)	62.35 (2.13)	20	假tDCS+常规康复	0.5 mA/20 min		
		C	20 (10/10)	63.50 (2.25)	20	常规康复			
		T	26 (16/10)	56.18 (6.30)	12/14	阳极tDCS+常规康复	1.5 mA/20 min	4 w	⑤
Dong 2021 ^[19]	中国	C	27 (18/9)	59.48 (9.12)	12/15	假tDCS+常规康复	1.5 mA/15 s		
		T	31 (25/6)	45.60 (12.10)	7/24	双侧tDCS+常规康复	2~3 mA/30 min	2 w	④
Pinto 2021 ^[20]	印度	C	29 (19/10)	48.10 (9.40)	6/23	假tDCS+常规康复	2~3 mA/30~60 s		
		T1	11 (8/3)	65.0 (10.00)	11	双侧tDCS+常规康复	2 mA/20 min	4 w	③
Youssef 2023 ^[21]	土耳其	T2	13 (9/4)	56.0 (12.20)	13	阳极tDCS+常规康复	2 mA/20 min		
		C	11 (7/4)	66.0 (5.20)	11	假tDCS+常规康复	2 mA/30 s		
		T1	12 (10/2)	53.55 (11.80)	6/6	阳极tDCS	2 mA/20 min	1 w	①
		T2	12 (9/3)	57.49 (11.30)	8/4	阴极tDCS+常规康复	2 mA/20 min		
Wong 2022 ^[22]	中国	T3	12 (10/2)	54.69 (11.00)	7/5	双侧tDCS	2 mA/20 min		
		C	12 (9/3)	55.12 (11.60)	4/8	假tDCS	2 mA/60 s		
Duan 2023 ^[23]	中国	T	46 (24/22)	65.83 (8.80)	-	阴极tDCS+常规康复	2 mA/20 min	5 w	①②
		C	45 (17/38)	66.58 (10.30)	-	假tDCS+常规康复	2 mA/40 s		
Vimolratana 2024 ^[24]	泰国	T	15 (6/9)	52.53 (15.05)	15	阳极tDCS+常规康复	1.5 mA/20 min	1 w	①
		C	15 (8/7)	62.27 (9.68)	15	假tDCS+常规康复	1.5 mA/30 s		
Prathum 2022 ^[25]	泰国	T	12 (8/4)	58.67 (3.70)	12	双侧tDCS+常规康复	2 mA/20 min	4 w	①②
		C	12 (8/4)	56.83 (3.58)	12	假tDCS+常规康复	2 mA/30 s		
Chang 2015 ^[26]	韩国	T	12 (15/9)	59.90 (10.20)	12	阳极tDCS+常规康复	2 mA/10 min	2 w	①③
		C	12 (15/9)	65.80 (10.60)	12	假tDCS+常规康复	2 mA/15 s		
Qurat-Ul-Ain 2022 ^[27]	中国	T1	22 (16/6)	56.18 (6.30)	6/6	小脑阳极tDCS+常规康复	2 mA/20 min	1 w	②③
		T2	22 (20/2)	57.91 (5.75)	4/18	初级运动皮层阳极tDCS+常规康复	2 mA/20 min		
		C	22 (18/4)	58.36 (5.90)	6/16	假tDCS+常规康复	2 mA/30 s		
		T	7 (5/2)	67.30 (11.80)	7	双侧tDCS	2 mA/15 min	1 w	②
Tahtis 2014 ^[28]	英国	C	7 (6/1)	56.40 (12.30)	7	假tDCS	2 mA/30 s		
		T	25 (15/10)	62.48 (11.86)	25	阳极tDCS+常规康复	1 mA/20 min	4 w	①④
Bornheim 2020 ^[29]	比利时	C	25 (18/7)	63.38 (12.94)	25	假tDCS+常规康复	1 mA/30 s		

注：-未提及；T，干预组；C，对照组；I，缺血性脑卒中；H，出血性脑卒中；I/H，出血性脑卒中；tDCS，transcranial direct current stimulation，经颅直流电刺激；A，电流大小；L，干预时长；w，周；①Fugl-Meyer下肢量表；②起立行走计时测试；③Berg平衡测试；④Barthel指数；⑤改良Barthel指数。

2.4 Meta分析结果

2.4.1 tDCS对脑卒中患者下肢运动功能的影响

8 篇文献^[16-17, 22-26, 29]采用 Fugl-Meyer 下肢量表报告了 tDCS 对脑卒中患者下肢运动功能的影响, 见图 3。研究间异质性较小 ($I^2=32.9\%$, $P=0.144$), 故采用固定效应模型分析。结果显示, 干预组与对照组的 Fugl-Meyer 下肢量表评分差异有统计学意义 [WMD=1.99, 95%CI (1.14, 2.84), $P < 0.001$]。按照刺激方式进行亚组分析, 结果显示, 阴极刺激、阳极刺激、双侧刺激方式均有统计学意义 ($P < 0.001$), 且双侧刺激效果更显著 [WMD=2.37, 95%CI (0.92, 3.82), $P < 0.001$]。按照干预周期进行亚组分析, 结果显示, 干预时间 ≤ 2 周和 > 2 周均有统计学意义 ($P < 0.001$), 且 > 2 周效果更显著 [WMD=2.31, 95%CI (0.98, 3.63), $P < 0.001$], 见图 4、图 5。

10 篇文献^[6-8, 12, 21, 23, 25-28]采用起立行走计时测试和 Berg 平衡测试报告了 tDCS 对脑卒中患者步行与平衡功能的影响, 见图 6。研究间异质性较大 ($I^2=77.5\%$, $P < 0.001$), 采用随机效应模型分析。结果显示, 干预组步行与平衡功能与对照组差异无统计学意义 [SMD=0.22, 95%CI (-0.17, 0.61), $P=0.274$]。经逐一剔除文献进行敏感性分析, 结果无显著差异。按照 tDCS 实施地区、刺激方式、干预措施、研究类型进行亚组分析, 结果显示, 脑卒中患者步行与平衡功能不受上述因素影响。

2.4.2 tDCS对脑卒中患者ADL的影响

9 篇文献^[13-20, 29]报告了 tDCS 对脑卒中患者 ADL 的影响, 见图 7。研究间异质性较大 ($I^2=61.5\%$, $P=0.005$), 采用随机效应模型分析。结果显示, 干预组与对照组 ADL 评分差异有统计学意义 [SMD=0.90, 95%CI (0.63, 1.16),

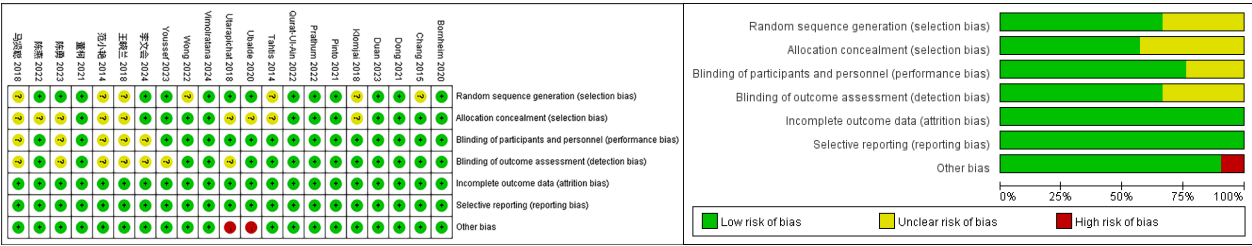


图2 纳入文献质量评价
Figure 2. Quality evaluation of the included literature

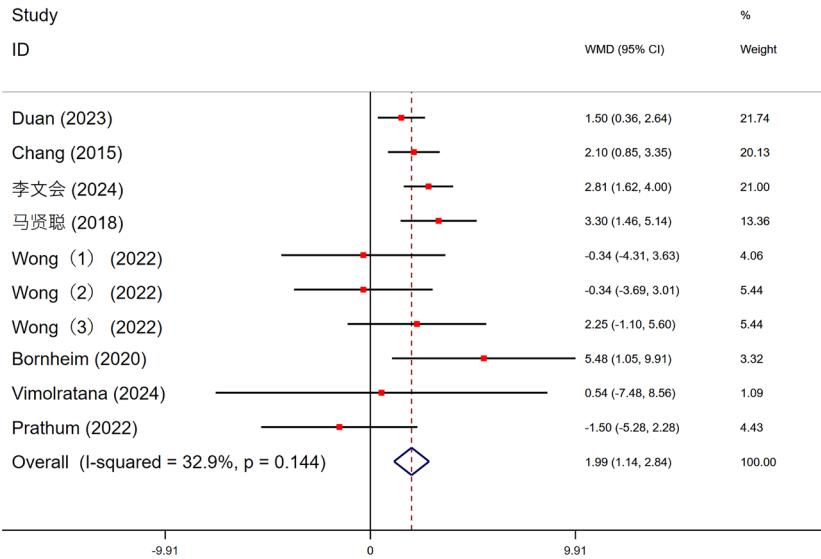


图3 经颅直流电刺激对脑卒中患者下肢运动功能的影响

Figure 3. The effect of transcranial direct current stimulation on lower extremity motor ability in stroke patients

注: (1) 阳极tDCS; (2) 阴极tDCS; (3) 双侧tDCS。

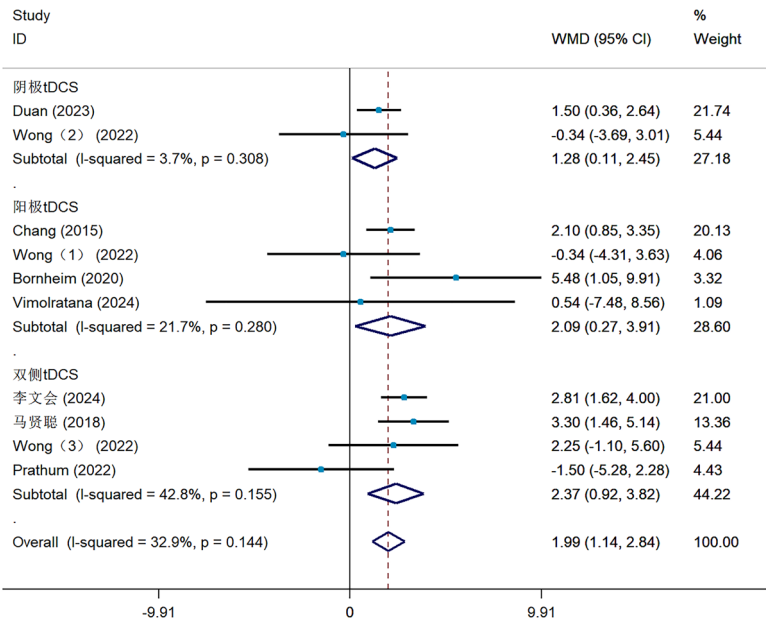


图4 经颅直流电刺激不同刺激方式对脑卒中患者下肢运动功能的影响
Figure 4. The effect of different stimulation models of transcranial direct current stimulation on lower extremity motor ability in stroke patients

注：（1）阳极tDCS；（2）阴极tDCS；（3）双侧tDCS。

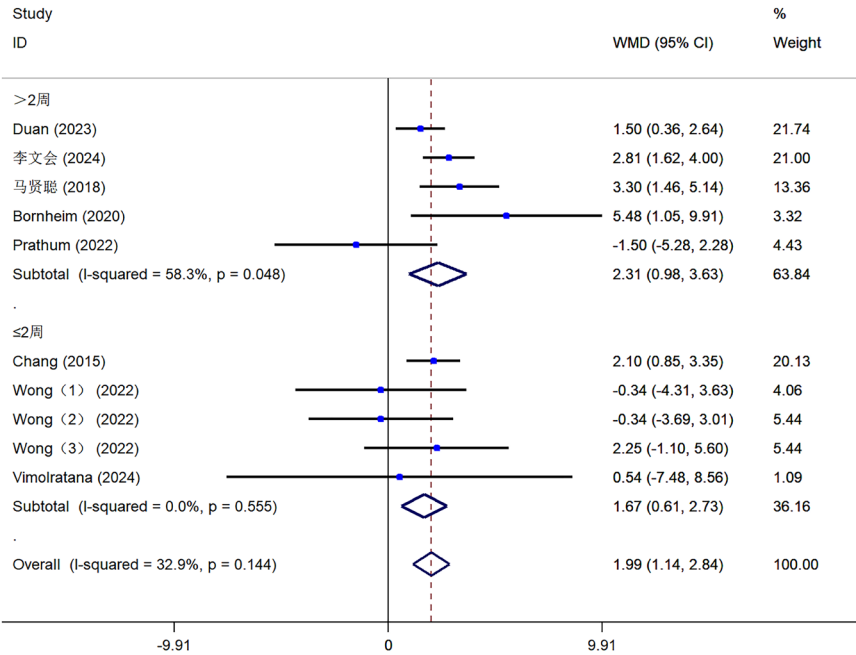


图5 经颅直流电刺激干预周期对脑卒中患者下肢运动功能的影响
Figure 5. The effect of transcranial direct current stimulation intervention period on lower extremity motor ability in stroke patients

注：（1）阳极tDCS；（2）阴极tDCS；（3）双侧tDCS。

$P < 0.001$]。经逐一剔除文献进行敏感性分析，结果无显著差异。按脑卒中类型、tDCS 实施地区及刺激方式进行亚组分析，结果显示，脑卒中患者 ADL 不受上述因素影响。

2.5 发表偏倚

采用 Egger 检验评估发表偏倚，结果显示，下肢运动功能 ($t=-0.82, P=0.436$) 及平衡与步行能力 ($t=1.85, P=0.085$) 不存在显著发表偏倚。

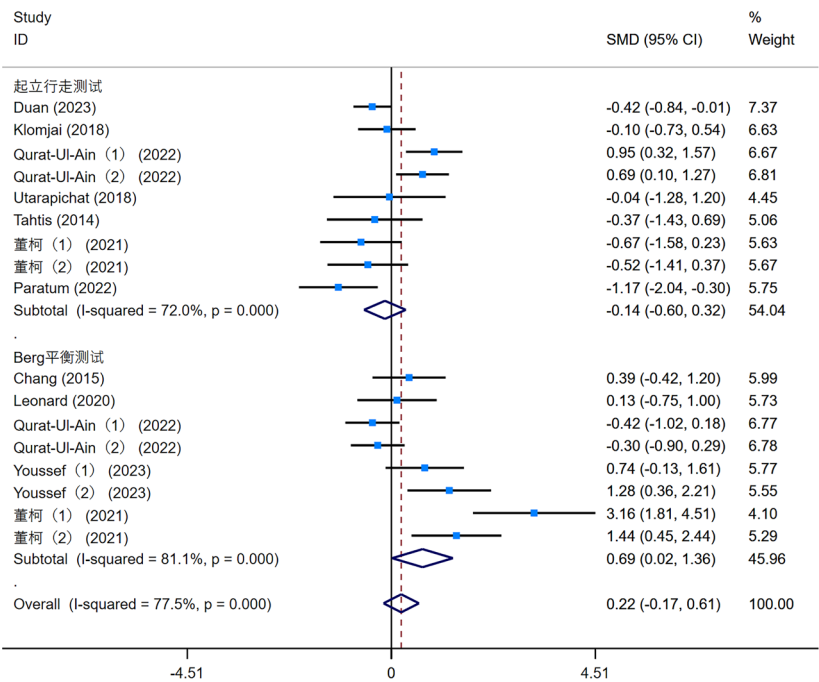


图6 经颅直流电刺激对脑卒中患者平衡与步行能力的影响

Figure 6. The effect of transcranial direct current stimulation on the balance and walking ability in stroke patients

注：Qurat-UI-Ain (1)，小脑阳极刺激；Qurat-UI-Ain (2)，初级运动皮层阳极刺激；Youssef (1)，双侧刺激；Youssef (2)，阳极刺激；董柯 (1)，双侧刺激与常规康复同时进行；董柯 (2)，双侧刺激于常规康复之前进行。

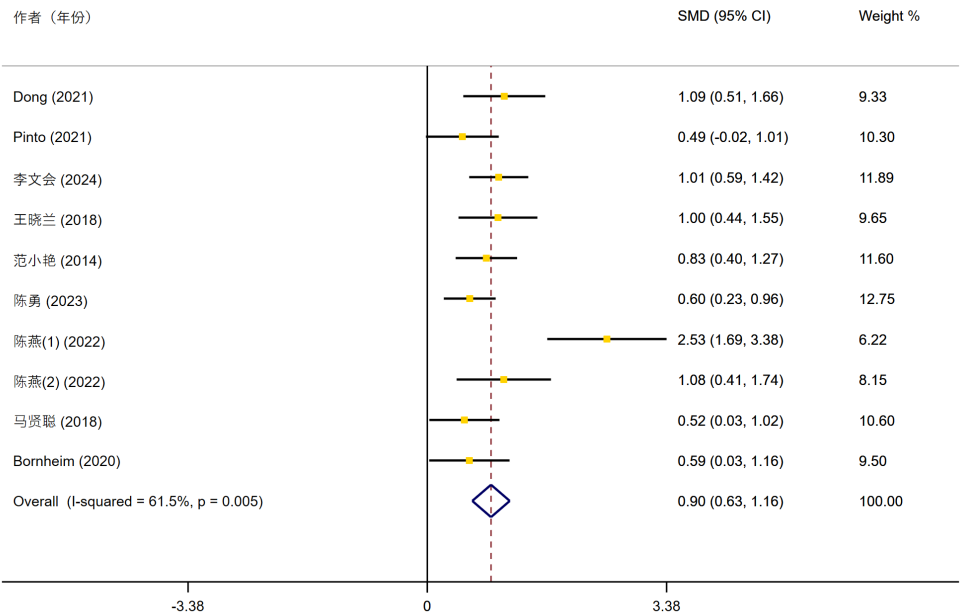


图7 经颅直流电刺激对脑卒中患者日常生活活动能力的影响

Figure 7. The effect of transcranial direct current stimulation on activity of daily living in stroke patients

注：(1) 阴极tDCS；(2) 假tDCS。

ADL 存在发表偏倚 ($t=2.41$, $P=0.042$)，但经剪补法修正后结果无差异，提示稳定性较好，见图 8。因此，本 Meta 分析结果未发现严重的发表偏倚。

2.6 敏感性分析

采用逐一剔除法进行敏感性分析，结果均无明显变化，提示本研究结果较可靠。以指标下肢运动能力为例，敏感性分析结果见图 9。

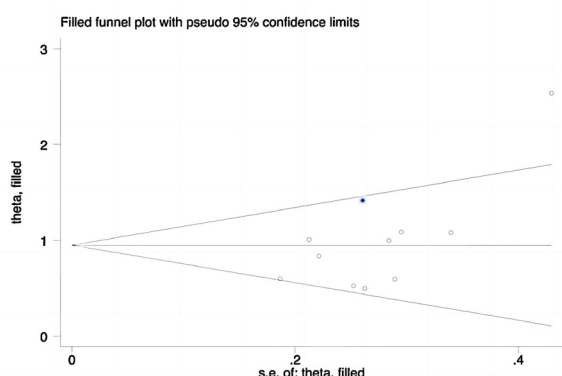


图8 日常生活活动能力经剪补法修正后的漏斗图
Figure 8. Funnel plot of activity of daily living corrected by trim and fill method

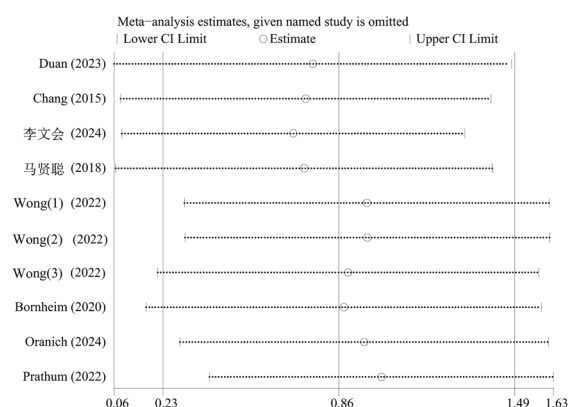


图9 敏感性分析结果
Figure 9. Results of sensitivity analysis

3 讨论

本研究 Meta 分析结果显示, 与常规康复相比, tDCS 能够改善脑卒中患者下肢运动功能, 提高 ADL, 但对于改善脑卒中患者平衡与步行能力方面的效果不显著。

据报道, 约 88% 的脑卒中患者存在下肢功能障碍^[3], 严重影响其日常工作及生活。本研究结果表明, tDCS 能够改善脑卒中患者的下肢运动功能, 且双侧刺激、干预 > 2 周的效果更显著。原因可能是脑卒中患者的大脑复杂性增加, 双侧 tDCS 可同时增加一个半球的兴奋性并降低对侧半球的兴奋性, 从而对大脑活动产生更平衡的调节^[30], 为大脑提供更具针对性及更有效的刺激。Miraglia 等^[31]的研究发现, 双侧刺激可更好地降低脑卒中小鼠的大脑复杂性, 与本研究结果一致。此外, 脑卒中后需恢复受损的神经功能, 其任务难度较高, Pires 等^[32]的研究发现, 改善上肢

功能至少需要 5 次治疗, 为干预周期影响脑卒中康复提供了证据。本研究结果提示, 临床干预时应使用双侧刺激并保证足够的干预时间, 以获得更好的干预效果。另外, 人体平衡的控制是一个综合过程, 依赖于视觉、前庭和躯体感觉输入与中枢神经系统的整合。研究显示, 约 83% 的卒中患者存在平衡障碍^[33], 甚至因步态不稳而畏惧跌倒, 进而导致久坐不动的生活方式和残疾发生率增加, 严重降低其生活质量。本研究结果表明, tDCS 在改善脑卒中患者平衡与步行能力方面的效果不显著, 与 Beretta 等^[34]的结果不一致。既往研究发现, 脑卒中后 1~3 个月的康复效果显著下降^[35], 卒中后 6 个月康复效果大幅度下降^[36], 本研究纳入的文献多为亚急性期及慢性期脑卒中患者, 可能对结果有一定影响, 未来仍需更多高质量的研究来探讨 tDCS 对脑卒中患者平衡与步行能力的影响。

体力活动不足是脑卒中复发风险和康复疗效的重要影响因素, 脑卒中后运动功能障碍使患者独立生活能力下降, 长期以来可能导致身体的整体机能退化。本研究结果表明, tDCS 可有效提高脑卒中患者的 ADL, 与 Esht 等^[37]的研究结果一致, 原因可能是脑卒中后功能恢复关键在于重塑脑结构与功能, tDCS 通过不同刺激调节神经元的兴奋性, 从而提高活动能力。近年来, 多项研究表明, 基于虚拟现实的运动训练可提高脑卒中患者的肢体活动度与功能独立性, 其可通过交互性游戏模拟日常生活场景的各种活动, 迫使患者以不同的方向和速度来调动身体各个部位, 增加受损区域的激活, 并增加患者自我康复的积极性^[38-39]。因此, 未来研究可将虚拟现实技术与 tDCS 相结合, 探讨其对于脑卒中患者功能康复的有效性。

本研究存在一定局限性: 首先, 部分结局指标未获得长期随访数据且纳入研究的脑卒中类型、病程、刺激参数的差异均会影响合并结果的可靠性; 其次, 部分文献未具体说明随机分配方法及分配隐藏方案, 存在一定的选择偏倚及实施偏倚, 未来研究应在随机化方法及分配隐藏等方面提供更多细节; 最后, 本研究仅纳入了公开发表的中、英文文献, 可能存在检索不全的情况。

综上所述, 本研究结果表明, tDCS 可改善脑卒中患者的下肢运动功能和 ADL, 双侧刺激、干预 > 2 周效果更显著, 但对平衡与步行能力尚无

明显作用。受限于不同研究的脑卒中类型、刺激参数及研究质量的影响,未来有待更多高质量的 RCT 进一步探究 tDCS 的效果,细化 tDCS 应用方案,为临床医生制定脑卒中患者具体的康复计划提供理论依据。

参考文献

- 1 Tu WJ, Wang LD, Special Writing Group of China Stroke Surveillance Report. China stroke surveillance report 2021[J]. *Mil Med Res*, 2023, 10(1): 33. DOI: [10.1186/s40779-023-00463-x](https://doi.org/10.1186/s40779-023-00463-x).
- 2 GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2133–2161. DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)00757-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00757-8).
- 3 Yadav T, Bhalerao G, Shyam AK. Factors affecting fear of falls in patients with chronic stroke[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2020, 27(1): 33–37. DOI: [10.1080/10749357.2019.1658419](https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1658419).
- 4 Goh HT, Nadarajah M, Hamzah NB. Falls and fear of falling after stroke: a case-control study[J]. *PM R*, 2016, 8(12): 1173–1180. DOI: [10.1016/j.pmrj.2016.05.012](https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2016.05.012).
- 5 Keser Z, Ikramuddin S, Shekhar S, et al. Neuromodulation for post-stroke motor recovery: a narrative review of invasive and non-invasive tools[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2023, 23(12): 893–906. DOI: [10.1007/s11910-023-01319-6](https://doi.org/10.1007/s11910-023-01319-6).
- 6 Klomjai W, Aneksan B, Pheungphrattanaatrat A, et al. Effect of single-session dual-tDCS before physical therapy on lower-limb performance in sub-acute stroke patients: a randomized sham-controlled crossover study[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2018, 61(5): 286–291. DOI: [10.1016/j.rehab.2018.04.005](https://doi.org/10.1016/j.rehab.2018.04.005).
- 7 Utarapichat S, Kitisomprayoonkul W. Effects of transcranial direct current stimulation on motor activity of lower limb muscles in chronic stroke[J]. *J Med Assoc Thai*, 2018, 101(1): 131–136. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/JMAT/10989038.pdf>
- 8 Ubalde L, Jacklin J, Hobson P, et al. Effects of transcranial direct current stimulation on gait and balance post-stroke[D]. Las Vegas: University of Nevada, Las Vegas, 2020. DOI: [10.34917/18162621](https://doi.org/10.34917/18162621).
- 9 Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials[J]. *BMJ*, 2011, 343: d5928. DOI: [10.1136/bmj.d5928](https://doi.org/10.1136/bmj.d5928).
- 10 Higgins JPT, Thompson SG, Deeks JJ, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses[J]. *BMJ*, 2003, 327(7414): 557–560. DOI: [10.1136/bmj.327.7414.557](https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557).
- 11 Bowden J, Davey Smith G, Burgess S. Mendelian randomization with invalid instruments: effect estimation and bias detection through Egger regression[J]. *Int J Epidemiol*, 2015, 44(2): 512–525. DOI: [10.1093/ije/dyv080](https://doi.org/10.1093/ije/dyv080).
- 12 董柯. 经颅直流电刺激对脑卒中后平衡功能恢复的影响[D]. 太原: 山西医科大学, 2021. [Dong K. The effects of transcranial direct current stimulation on the recovery of balance function after stroke[D]. Taiyuan: Shanxi Medical University, 2021.] DOI: [10.27288/d.cnki.gsxyu.2021.000048](https://doi.org/10.27288/d.cnki.gsxyu.2021.000048).
- 13 范小艳. 经颅直流电刺激对脑卒中患者运动功能恢复的影响[J]. 按摩与康复医学, 2014, 5(3): 35–36. [Fan XY. Effects of transcranial direct current stimulation on motor function of stroke patients recovering[J]. *Traditional Chinese Medicine Rehabilitation*, 2014, 5(3): 35–36.] https://med.wanfangdata.com.cn/Paper/Detail?id=PeriodicalPaper_amydy201403016
- 14 陈勇. 经颅直流电刺激结合康复治疗在老年脑卒中患者中的应用探讨[J]. 基层医学论坛, 2023, 27(16): 40–42. [Chen Y. Application of transcranial direct current stimulation combined with rehabilitation therapy in elderly patients with stroke[J]. *The Medical Forum*, 2023, 27(16): 40–42.] DOI: [10.19435/j.1672-1721.2023.16.014](https://doi.org/10.19435/j.1672-1721.2023.16.014).
- 15 王晓兰. 经颅直流电刺激联合康复训练对脑卒中患者运动功能康复的疗效观察[J]. 世界最新医学信息文摘, 2018, 18(96): 53, 55. [Wang XL. Effect of transcranial direct current stimulation combined with rehabilitation training on motor function rehabilitation of stroke patients[J]. *World Latest Medicine Information*, 2018, 18(96): 53, 55.] DOI: [10.19613/j.cnki.1671-3141.2018.96.034](https://doi.org/10.19613/j.cnki.1671-3141.2018.96.034).
- 16 马贤聪, 鲍晓, 杨泉, 等. 抗阻运动联合经颅直流电刺激对脑卒中偏瘫患者肢体运动功能的影响[J]. 临床与病理杂志, 2018, 38(4): 805–811. [Ma XC, Bao X, Yang Q, et al. Effect of anti-resistance exercise combined with transcranial direct current stimulation on limb movement function of stroke patients with hemiplegia[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2018, 38(4): 805–811.] DOI: [10.3978/j.issn.2095-6959.2018.04.020](https://doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2018.04.020).
- 17 李文会. 脑卒中患者应用经颅直流电刺激联合康复训练治疗的有效性及对肢体运动功能的影响[J]. 中国科技期刊数据库医药, 2024, (1): 0119–0122. [Li WH. Effect of transcranial direct current stimulation combined with rehabilitation training on limb motor function in patients with stroke[J]. *Chinese Science and Technology Journal Database Medicine*, 2024, (1): 0119–0122.] <https://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=1000003971503>
- 18 陈燕, 郭少维. 阴极经颅直流电刺激对急性脑梗死患者运动功能障碍的疗效观察[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)医药卫生, 2022, (10): 37–39. [Chen Y, Guo SW. Effect of transcranial direct current cathodic stimulation on motor dysfunction in patients with acute cerebral infarction[J]. *Chinese Science and Technology Journal Database (full text version) Medicine and Health*, 2022, (10): 37–39. https://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=1000003516636&from=Qikan_Search_Index
- 19 Dong XL, Sun X, Sun WM, et al. A randomized controlled trial to explore the efficacy and safety of transcranial direct current stimulation on patients with post-stroke fatigue[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(41): e27504. DOI: [10.1097/MD.00000000000027504](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000027504).
- 20 Pinto EF, Gupta A, Kulkarni GB, et al. A randomized, double-blind, sham-controlled study of transcranial direct current stimulation as an augmentation intervention for the attenuation of

- motor deficits in patients with stroke[J]. J ECT, 2021, 37(4): 281–290. DOI: [10.1097/YCT.0000000000000769](https://doi.org/10.1097/YCT.0000000000000769).
- 21 Youssef H, Mohamed NAE, Hamdy M. Comparison of bihemispheric and unihemispheric M1 transcranial direct current stimulations during physical therapy in subacute stroke patients: a randomized controlled trial[J]. Neurophysiol Clin, 2023, 53(3): 102895. DOI: [10.1016/j.neucli.2023.102895](https://doi.org/10.1016/j.neucli.2023.102895).
 - 22 Wong PL, Yang YR, Tang SC, et al. Comparing different montages of transcranial direct current stimulation on dual-task walking and cortical activity in chronic stroke: double-blinded randomized controlled trial[J]. BMC Neurol, 2022, 22(1): 119. DOI: [10.1186/s12883-022-02644-y](https://doi.org/10.1186/s12883-022-02644-y).
 - 23 Duan Q, Liu W, Yang J, et al. Effect of cathodal transcranial direct current stimulation for lower limb subacute stroke rehabilitation[J]. Neural Plast, 2023, 2023: 1863686. DOI: [10.1155/2023/1863686](https://doi.org/10.1155/2023/1863686).
 - 24 Vimolratana O, Aneksan B, Siripornpanich V, et al. Effects of anodal tDCS on resting state eeg power and motor function in acute stroke: a randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2024, 21(1): 6. DOI: [10.1186/s12984-023-01300-x](https://doi.org/10.1186/s12984-023-01300-x).
 - 25 Prathum T, Piriyaaprasarth P, Aneksan B, et al. Effects of home-based dual-hemispheric transcranial direct current stimulation combined with exercise on upper and lower limb motor performance in patients with chronic stroke[J]. Disabil Rehabil, 2022, 44(15): 3868–3879. DOI: [10.1080/09638288.2021.1891464](https://doi.org/10.1080/09638288.2021.1891464).
 - 26 Chang MC, Kim DY, Park DH. Enhancement of cortical excitability and lower limb motor function in patients with stroke by transcranial direct current stimulation[J]. Brain Stimul, 2015, 8(3): 561–566. DOI: [10.1016/j.brs.2015.01.411](https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.01.411).
 - 27 Qurat-Ul-Ain, Ahmad Z, Ishtiaq S, et al. Short term effects of anodal cerebellar vs. anodal cerebral transcranial direct current stimulation in stroke patients, a randomized control trial[J]. Front Neurosci, 2022, 16: 1035558. DOI: [10.3389/fnins.2022.1035558](https://doi.org/10.3389/fnins.2022.1035558).
 - 28 Tahtis V, Kaski D, Seemungal BM. The effect of single session bi-cephalic transcranial direct current stimulation on gait performance in sub-acute stroke: a pilot study[J]. Restor Neurol Neurosci, 2014, 32(4): 527–532. DOI: [10.3233/RNN-140393](https://doi.org/10.3233/RNN-140393).
 - 29 Bornheim S, Croisier JL, Maquet P, et al. Transcranial direct current stimulation associated with physical-therapy in acute stroke patients – a randomized, triple blind, sham-controlled study[J]. Brain Stimul, 2020, 13(2): 329–336. DOI: [10.1016/j.brs.2019.10.019](https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.10.019).
 - 30 Longo V, Barbaty SA, Re A, et al. Transcranial direct current stimulation enhances neuroplasticity and accelerates motor recovery in a stroke mouse model[J]. Stroke, 2022, 53(5): 1746–1758. DOI: [10.1161/STROKEAHA.121.034200](https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.121.034200).
 - 31 Miraglia F, Pappalettera C, Barbaty SA, et al. Brain complexity in stroke recovery after bihemispheric transcranial direct current stimulation in mice[J]. Brain Commun, 2024, 6(3): fcae137. DOI: [10.1093/braincomms/fcae137](https://doi.org/10.1093/braincomms/fcae137).
 - 32 Pires R, Baltar A, Sanchez MP, et al. Do higher transcranial direct current stimulation doses lead to greater gains in upper limb motor function in post-stroke patients?[J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20(2): 1279. DOI: [10.3390/ijerph20021279](https://doi.org/10.3390/ijerph20021279).
 - 33 Tyson SF, Hanley M, Chillala J, et al. Balance disability after stroke[J]. Phys Ther, 2006, 86(1): 30–38. DOI: [10.1093/ptj/86.1.30](https://doi.org/10.1093/ptj/86.1.30).
 - 34 Beretta VS, Santos PCR, Orcioli-Silva D, et al. Transcranial direct current stimulation for balance rehabilitation in neurological disorders: a systematic review and meta-analysis[J]. Ageing Res Rev, 2022, 81: 101736. DOI: [10.1016/j.arr.2022.101736](https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101736).
 - 35 Beckwée D, Cuypers L, Lefeber N, et al. Skeletal muscle changes in the first three months of stroke recovery: a systematic review[J]. J Rehabil Med, 2022, 54: jrm00308. DOI: [10.2340/jrm.v54.573](https://doi.org/10.2340/jrm.v54.573).
 - 36 Castagnoli C, Pancani S, Barretta T, et al. Correlates of participation six months after stroke in an Italian population: results from the RIPS (Post-Stroke Intensive Rehabilitation) Study[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2023, 59(2): 125–135. DOI: [10.23736/S1973-9087.23.07639-6](https://doi.org/10.23736/S1973-9087.23.07639-6).
 - 37 Esht V, Alshehri MM, Balasubramanian K, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) for neurological disability among subacute stroke survivors to improve multiple domains in health-related quality of life: randomized controlled trial protocol[J]. Neurophysiol Clin, 2024, 54(3): 102976. DOI: [10.1016/j.neucli.2024.102976](https://doi.org/10.1016/j.neucli.2024.102976).
 - 38 Gao Y, Ma L, Lin C, et al. Effects of virtual reality-based intervention on cognition, motor function, mood, and activities of daily living in patients with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Front Aging Neurosci, 2021, 13: 766525. DOI: [10.3389/fnagi.2021.766525](https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.766525).
 - 39 Rodríguez-Hernández M, Criado-Álvarez JJ, Corregidor-Sánchez AI, et al. Effects of virtual reality-based therapy on quality of life of patients with subacute stroke: a three-month follow-up randomized controlled trial[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(6): 2810. DOI: [10.3390/ijerph18062810](https://doi.org/10.3390/ijerph18062810).

收稿日期: 2024 年 08 月 14 日 修回日期: 2025 年 01 月 02 日

本文编辑: 张 苗 黄 笛

引用本文: 刘语嫣, 孙羽健, 孙丹, 等. 经颅直流电刺激对脑卒中患者下肢运动功能影响的Meta分析[J]. 数理医药学杂志, 2025, 38(4): 287–296. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202408137](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202408137).

Liu YY, Sun YJ, Sun D, et al. Effect of transcranial direct current stimulation on lower extremity motor function in stroke patients: a Meta-analysis[J]. Journal of Mathematical Medicine, 2025, 38(4): 287–296. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202408137](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202408137).