

不同电流密度经颅直流电刺激对脑卒中患者 上肢运动障碍疗效分析

张大华 宋为群 程亦男 袁英 汪洁 马佳妮

【摘要】 目的 对比分析不同电流密度经颅直流电刺激对脑卒中患者上肢运动障碍的疗效。方法 选择 2019 年 3 月至 2022 年 6 月首都医科大学宣武医院收治的 45 例脑卒中后上肢运动障碍患者,随机予以低电流密度(0.028 mA/cm²,低密度组)、中等电流密度(0.057 mA/cm²,中密度组)和高电流密度(0.080 mA/cm²,高密度组)电刺激(每组各 15 例),于治疗前和治疗后 1 周采用 Fugl-Meyer 上肢评价量表(FMA-UE)和上肢动作研究测验量表(ARAT)评价上肢运动功能,改良 Barthel 指数(mBI)评价日常生活活动能力。结果 不同电流密度组患者治疗后 FMA-UE($F = 284.343, P = 0.000$)、ARAT($F = 180.427, P = 0.000$)和 mBI($F = 487.159, P = 0.000$)评分均高于治疗前;各组间 FMA-UE($F = 2.293, P = 0.000$)和 ARAT($F = 2.572, P = 0.000$)评分差异有统计学意义,其中高密度组和中密度组 FMA-UE($t = 2.426, P = 0.029; t = 2.140, P = 0.035$)和 ARAT($t = 2.537, P = 0.024; t = 2.353, P = 0.028$)评分均高于低密度组。结论 经颅直流电刺激可有效改善脑卒中患者上肢运动功能,尤以电流密度 0.057 和 0.080 mA/cm²效果更佳。

【关键词】 经颅直流电刺激; 卒中; 运动障碍; 上肢

Effect of transcranial direct current stimulation with different current density on upper limb motor disorder after stroke

ZHANG Da-hua, SONG Wei-qun, CHENG Yi-nan, YUAN Ying, WANG Jie, MA Jia-ni

Department of Rehabilitation Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China

Corresponding author: WANG Jie (Email: wangjies@aliyun.com)

【Abstract】 Objective To explore the therapeutic effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) with different current density on upper limb motor disorder in stroke patients. **Methods** A total of 45 stroke patients with upper limb motor disorder hospitalized in Xuanwu Hospital, Capital Medical University from March 2019 to June 2022 were selected and randomly divided into low current density stimulation group (low density group, 0.028 mA/cm²), medium current density stimulation group (medium density group, 0.057 mA/cm²), high current density stimulation group (high density group, 0.080 mA/cm²), 15 cases in each group. Upper limb motor function was evaluated by Fugl-Meyer Assessment Scale for Upper Extremity (FMA-UE) and Action Research Arm Test (ARAT) before and one week after treatment, and activity of daily living was evaluated by modified Barthel Index (mBI). **Results** After treatment of tDCS, FMA-UE ($F = 284.343, P = 0.000$), ARAT ($F = 180.427, P = 0.000$) and mBI ($F = 487.159, P = 0.000$) scores in 3 groups were improved compared with those before treatment. FMA-UE ($F = 2.293, P = 0.000$) and ARAT ($F = 2.572, P = 0.000$) scores were significantly different among 3 groups, FMA-UE ($t = 2.426, P = 0.029; t = 2.140, P = 0.035$) and ARAT ($t = 2.537, P = 0.024; t = 2.353, P = 0.028$) scores in high density group and medium density group were higher than those in low density group. **Conclusions** tDCS is safe and effective in the treatment of upper limb motor disorder after stroke. Current densities of 0.057 and 0.080 mA/cm² are more effective than those of 0.028 mA/cm².

【Key words】 Transcranial direct current stimulation; Stroke; Motor disorders; Upper extremity

Conflicts of interest: none declared

脑卒中患者遗留的神经功能障碍以上肢运动

障碍多见,且康复过程较下肢缓慢,是脑卒中患者康复治疗的重点,仅 5%~20% 患者发病后 1 年能完全恢复运动功能^[1]。经颅直流电刺激(tDCS)是一种非侵入性神经调控技术,通过调节大脑皮质兴奋

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2024.03.013

作者单位: 100053 北京,首都医科大学宣武医院康复医学科

通讯作者: 汪洁, Email: wangjies@aliyun.com

性,促进脑卒中患者运动功能恢复^[2]。亦有部分患者在电刺激过程中出现短暂性轻微不良反应,如瘙痒、刺痛和灼烧感^[3],与电流密度密切相关。调整电流密度进行电刺激^[4],电流密度较低时无法引起有效的神经元膜电位改变,电流密度较高时可引起电极极性反转或不良反应发生率增加^[5],因此,如何选择恰当的电流密度对经颅直流电刺激在神经康复中的应用至关重要。目前,国内外研究关于经颅直流电刺激电极、治疗时间、疗效评价方法等参数异质性较大,尚无一致性结论,对指导临床治疗有一定局限性。本研究以首都医科大学宣武医院近 3 年诊断与治疗的脑卒中后上肢运动障碍患者作为研究对象,对比分析不同电流密度经颅直流电刺激疗效,以探究最佳治疗参数。

资料与方法

一、临床资料

1. 纳入标准 (1)脑卒中的诊断符合《中国各类主要脑血管病诊断要点 2019》^[6]标准,并经头部 CT 或 MRI 证实。(2)年龄 25~70 岁。(3)首次发病,病变仅累及单侧大脑半球。(4)病程 1~6 个月。(5)均为单侧肢体瘫痪。(6)坐位平衡分级为 3 级,上肢肘关节或腕关节屈肌张力改良 Ashworth 量表(MAS)^[7]评分 ≤ 1 级。

2. 排除标准 (1)病变累及双侧大脑半球、小脑或脑干。(2)颅内压显著增高或大面积急性脑梗死。(3)合并严重心、肺、肝、肾等重要脏器功能障碍。(4)合并骨关节疾病无法完成康复治疗。(5)简易智能状态检查量表(MMSE)评分 < 24 分^[8]。(6)存在心脏起搏器、颅内金属植入物等经颅直流电刺激禁忌证。(7)局部皮肤损伤或炎症、电刺激区痛觉过敏。

3. 一般资料 选择 2019 年 3 月至 2022 年 6 月在我院康复医学科住院治疗的脑卒中后上肢运动障碍患者共 45 例,男性 32 例,女性 13 例;年龄为 44~66 岁,平均 (54.82 ± 9.53) 岁;受教育程度 9~16 年,平均 (12.02 ± 2.93) 年;病程 4~19 周,平均 (13.04 ± 2.80) 周;既往合并高血压占 62.22%(28/45)、糖尿病占 60%(27/45)、高脂血症占 60%(27/45),饮酒占 62.22%(28/45)、吸烟占 53.33%(24/45);脑卒中类型为缺血性卒中 31 例(68.89%),出血性卒中 14 例(31.11%);病灶位于左侧 16 例(35.56%),右侧 29 例(64.44%);MAS 评分 0 级 21 例(46.67%),1 级 24 例(53.33%);常规治疗基础上均予经颅直流电刺激。

二、研究方法

1. 常规治疗 患者入院后均予以对症药物治疗和维生素类药物,同时辅助康复治疗,包括物理治疗和以任务为导向作业疗法。物理治疗主要包括肩关节前屈、水平外展、上举外展伴外旋,前臂旋后、旋前,腕背伸,拇指和食指对指屈曲环绕物体等;以任务为导向作业疗法包括上肢运动控制训练,健侧手辅助或患侧手独立完成磨砂板、套圈、物品转移,以及穿衣、洗漱、进食、体位转移等日常生活活动能力训练。每次 30 min,每日 2 次,连续 1 周。

2. 经颅直流电刺激 患者在常规药物治疗的同时予以经颅直流电刺激,采用 IS200 型智能电刺激器(四川省智能电子实业有限公司)。患者于安静无噪音环境下静坐于轮椅上,采用 10-20 系统电极放置法,电极为 4 cm \times 6 cm 等渗盐水明胶海绵电极,阳极为刺激电极,置于患侧大脑初级运动皮质(M1)C3 或 C4 处;阴极为参考电极,置于对侧三角肌。参照文献^[9]方法,采用随机数字表法随机予以低电流密度(电流密度 0.028 mA/cm²、电流强度为 0.70 mA)、中等电流密度(电流密度 0.057 mA/cm²、电流强度为 1.40 mA)和高电流密度(电流密度为 0.080 mA/cm²、电流强度为 1.90 mA)电刺激。上述经颅直流电刺激治疗 20 min/次(2 次/d),每周 5 天,连续 1 周。电刺激后立即予以常规康复治疗。

3. 疗效评价 分别于治疗前和治疗后 1 周对患者进行疗效评价,采用 Fugl-Meyer 上肢评价量表(FMA-UE)^[10]和上肢动作研究测验量表(ARAT)^[11]评价上肢运动功能,改良 Barthel 指数(mBI)评价日常生活活动能力^[12]。(1)FMA-UE 量表:共包括 33 项条目,每项评分 0~2 分,0 分为无法完成动作、1 分为可完成部分动作、2 分为可完成全部动作,总评分为 66 分,评分越高、上肢运动功能越佳。(2)ARAT 量表:共包括抓(6 项)、握(4 项)、捏(6 项)和粗大动作(3 项)4 个方面计 19 项内容,每项评分 0~3 分,0 分为无法完成动作、1 分为可完成部分动作、2 分为可完成全部动作但存在困难或时间延迟、3 分为可正常完成全部动作,总评分为 57 分,评分越高、上肢运动功能越佳。(3)mBI 量表:包括进食、洗澡、修饰、穿衣、大便、小便、如厕、转移、行走、上下楼梯共 10 项内容,根据是否需要他人帮助及帮助程度分为 0、5、10 和 15 分共 4 级,总评分为 100 分,评分越高、日常生活活动独立性越佳。

4. 统计分析方法 采用 SPSS 23.0 统计软件进

表 1 3 组患者一般资料的比较

Table 1. Comparison of general data among 3 groups

观察指标	低密度组(n=15)	中密度组(n=15)	高密度组(n=15)	统计量值	P 值
性别[例(%)]				0.212	0.900
男性	10(10/15)	11(11/15)	11(11/15)		
女性	5(5/15)	4(4/15)	4(4/15)		
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	54.93 \pm 10.58	52.60 \pm 9.13	55.93 \pm 9.40	0.464	0.632
受教育程度($\bar{x} \pm s$, 年)	12.07 \pm 2.79	12.13 \pm 3.09	12.27 \pm 2.66	0.019	0.981
病程($\bar{x} \pm s$, 周)	12.87 \pm 3.04	12.80 \pm 2.70	13.47 \pm 2.80	0.248	0.781
高血压[例(%)]	10(10/15)	8(8/15)	10(10/15)	0.756	0.685
糖尿病[例(%)]	8(8/15)	9(9/15)	10(10/15)	0.360	0.835
高脂血症[例(%)]	9(9/15)	10(10/15)	8(8/15)	0.556	0.757
饮酒[例(%)]	10(10/15)	10(10/15)	8(8/15)	0.756	0.685
吸烟[例(%)]	8(8/15)	7(7/15)	9(9/15)	0.536	0.765
脑卒中类型[例(%)]				1.419	0.492
缺血性卒中	10(10/15)	12(12/15)	9(9/15)		
出血性卒中	5(5/15)	3(3/15)	6(6/15)		
病灶侧别[例(%)]				1.358	0.507
左侧	5(5/15)	7(7/15)	4(4/15)		
右侧	10(10/15)	8(8/15)	11(11/15)		
MAS 评分[例(%)]				0.536	0.765
0 级	6(6/15)	7(7/15)	8(8/15)		
1 级	9(9/15)	8(8/15)	7(7/15)		

Kruskal-Wallis H test for comparison of sex and stroke type, one-way ANOVA for comparison of age, education and duration, and χ^2 test for comparison of others, 性别和脑卒中类型的比较行 Kruskal-Wallis H 检验, 年龄、受教育程度和病程的比较行单因素方差分析, 其余指标的比较行 χ^2 检验。MAS, modified Ashworth Scale, 改良 Ashworth 量表

行数据处理与分析。计数资料以相对数构成比(%)或率(%)表示, 采用 χ^2 检验或 Kruskal-Wallis H 检验。正态性检验采用 Kolmogorov-Smirnov 检验, 呈正态分布的计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 采用单因素方差分析。经颅直流电刺激治疗前后 FMA-UE、ARAT 和 mBI 评分的比较采用前后测量设计的方差分析, 两两比较行 LSD- t 检验。以 $P \leq 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

本组 45 例患者根据经颅直流电刺激电流密度, 分为低密度组(15 例)、中密度组(15 例)和高密度组(15 例), 3 组患者一般资料比较, 差异无统计学意义(均 $P > 0.05$, 表 1), 均衡可比。

与治疗前相比, 3 组患者经颅直流电刺激治疗后 FMA-UE($P = 0.000$)、ARAT($P = 0.000$)、mBI($P = 0.000$)评分均增加(表 2, 3)。不同电流密度组患者 FMA-UE($P = 0.000$)和 ARAT($P = 0.000$)评分差异有

统计学意义, BI 评分比较差异无统计学意义($P = 0.185$; 表 2, 3); 进一步两两比较, 高密度组和中密度组 FMA-UE($P = 0.029, 0.035$)和 ARAT($P = 0.024, 0.028$)评分均高于低密度组, 而中密度组与高密度组 FMA-UE 和 ARAT 评分比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$, 表 4)。表明经颅直流电刺激可有效改善脑卒中患者上肢运动功能, 尤以中等和高电流密度效果更佳。

讨 论

近年来, 脑卒中发病率逐年升高, 约 65% 患者遗留上肢运动障碍, 显著降低患者生活质量, 给家庭和社会带来沉重负担^[13]。经颅直流电刺激因其安全性、非侵入性、简便性等优势, 业已用于改善脑卒中患者上肢运动功能的辅助治疗^[14], 该项技术利用低强度、恒定微电流(1~2 mA)调节大脑皮质活动, 由阴极电极和阳极电极组成, 其中阳极刺激可促进大脑皮质神经元兴奋性, 阴极刺激可抑制其兴

表 2 3组患者经颅直流电刺激治疗前后FMA-UE、ARAT和mBI评分的比较($\bar{x} \pm s$, 评分)

Table 2. Comparison of FMA-UE, ARAT and mBI scores before and after tDCS among 3 groups ($\bar{x} \pm s$, score)

组别	例数	治疗前	治疗后
FMA-UE			
低密度组	15	27.07 ± 2.92	30.73 ± 3.92
中密度组	15	28.40 ± 3.50	34.20 ± 4.90
高密度组	15	28.53 ± 2.85	34.33 ± 4.20
ARAT			
低密度组	15	10.67 ± 1.92	13.40 ± 2.13
中密度组	15	11.40 ± 2.06	15.73 ± 3.20
高密度组	15	11.67 ± 2.09	15.80 ± 2.98
mBI			
低密度组	15	48.33 ± 4.88	59.00 ± 4.31
中密度组	15	51.00 ± 5.07	61.67 ± 4.50
高密度组	15	50.00 ± 3.78	61.33 ± 3.52

FMA-UE, Fugl-Meyer Assessment Scale for Upper Extremity, Fugl-Meyer 上肢评价量表; ARAT, Action Research Arm Test, 上肢动作研究测验量表; mBI, modified Barthel Index, 改良 Barthel 指数。The same for Table 3

表 3 3组患者经颅直流电刺激治疗前后FMA-UE、ARAT和mBI评分的前后测量设计的方差分析表

Table 3. ANOVA for premeasure-postmeasure design of FMA-UE, ARAT and mBI scores before and after tDCS among 3 groups

变异来源	SS	df	MS	F 值	P 值
FMA-UE					
处理因素	121.956	2	60.978	2.293	0.000
测量时间	582.678	1	582.678	284.343	0.000
处理因素 × 测量时间	22.756	2	11.378	5.552	0.000
组间误差	124.978	2	62.489		
组内误差	798.667	42	19.016		
ARAT					
处理因素	52.689	2	26.344	2.572	0.000
测量时间	313.600	1	313.600	180.427	0.000
处理因素 × 测量时间	11.400	2	5.700	3.279	0.047
组间误差	56.044	2	28.022		
组内误差	330.933	42	7.879		
mBI					
处理因素	115.556	2	57.778	1.758	0.185
测量时间	2667.778	1	2667.778	487.159	0.000
处理因素 × 测量时间	2.222	2	1.111	0.203	0.817
组间误差	63.333	2	31.667		
组内误差	716.668	42	17.063		

奋性。有研究发现,经颅直流电刺激通过上调患侧初级运动皮质神经元兴奋性、下调对侧初级运动神

表 4 3组患者经颅直流电刺激治疗后FMA-UE和ARAT评分的两两比较

Table 4. Pairwise comparison of FMA-UE and ARAT scores after tDCS among 3 groups

组间两两比	FMA-UE		ARAT	
	t 值	P 值	t 值	P 值
低密度组 : 中密度组	2.140	0.035	2.353	0.028
低密度组 : 高密度组	2.426	0.029	2.537	0.024
中密度组 : 高密度组	0.080	0.934	0.059	0.948

FMA-UE, Fugl-Meyer Assessment Scale for Upper Extremity, Fugl-Meyer 上肢评价量表; ARAT, Action Research Arm Test, 上肢动作研究测验量表

经元兴奋性,改善脑卒中患者运动功能^[15]。亦有研究显示,阳极刺激在改善脑卒中患者上肢运动功能方面具有一定优势^[16]。

除病因、病程、梗死灶面积外,经颅直流电刺激参数对改善脑卒中患者上肢运动功能亦具有重要意义,电刺激过程中需维持足够的电流密度方可使微电流进入神经元,使大脑皮质得到足够刺激^[17],但并非电流密度越大,大脑皮质兴奋性越高。目前,国内外经颅直流电刺激治疗脑卒中患者上肢运动障碍研究主要采用的电流密度为0.029、0.057和0.080 mA/cm²,并取得较好疗效^[9],因此本研究采用上述3种电流密度对患侧初级运动皮质进行阳极刺激,对比分析3种电流密度对脑卒中患者上肢运动障碍的改善作用。Vimolratana等^[18]对48例健康受试者行经颅直流电刺激并观察其肌力变化,随机分为假刺激组、0.028 mA/cm²组、0.043 mA/cm²组和0.057 mA/cm²组(每组各12例),分别于刺激前和刺激后20分钟检测上肢肌力,并采用经颅磁刺激(TMS)检测皮质脊髓束兴奋性,结果显示,经颅直流电刺激各组皮质脊髓束兴奋性和上肢肌力均无明显差异,提示唯有选取适当的电流密度,经颅直流电刺激才可取得最佳疗效。

本研究3组患者经颅直流电刺激治疗后1周上肢运动功能均较治疗前显著改善,且中密度组和高密度组FMA-UE和ARAT评分较低密度组改善更明显,表明阳极经颅直流电刺激可有效提高脑卒中患者上肢运动功能,尤以中等和高电流密度效果更佳;而高密度组与中密度组上肢运动功能无明显差异,考虑可能是由于0.080 mA/cm²电流密度在患侧初级运动皮质产生的神经兴奋性改变程度并未高于0.057 mA/cm²,其对大脑皮质的兴奋性作用无明

显变化。Jamil 等^[19]采用 0.014、0.028、0.042 和 0.057 mA/cm² 电流密度对健康受试者行阳极经颅直流电刺激并观察其神经兴奋性后效应,采用经颅磁刺激检测上肢运动诱发电位评价大脑初级运动皮质兴奋性改变,发现 0.057 mA/cm² 与 0.028 mA/cm² 电流密度诱发的大脑皮质兴奋性改变并无显著差异。本研究所纳入患者均为仅累及单侧大脑半球的脑卒中患者,需更高电流密度方可引起皮质脊髓束兴奋性改变,促进脑卒中患者上肢运动功能恢复。此外,3 组患者治疗前后 mBI 评分无明显差异,可能是由于 mBI 评分主要用于脑卒中后运动障碍患者日常生活活动能力的全面评价,同时涵盖下肢功能,无法特异性评价上肢运动功能的改善。

综上所述,阳极经颅直流电刺激患侧初级运动皮质可改善脑卒中患者上肢运动功能,且电流密度为 0.057 和 0.080 mA/cm² 较 0.028 mA/cm² 的疗效更佳。然而,本研究为单中心研究且样本量较小,可能存在选择偏倚;未对入组患者病灶部位和面积行分层分析,且对上肢运动功能的评价仅为量表评价,未行神经电生理检测等客观检查。未来待进一步扩大样本量,增加神经电生理学和影像学指标,以明确脑卒中患者上肢运动功能恢复的具体机制。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Plantin J, Verneau M, Godbolt AK, Pennati GV, Laurencikas E, Johansson B, Krumlinde - Sundholm L, Baron JC, Borg J, Lindberg PG. Recovery and prediction of bimanual hand use after stroke[J]. *Neurology*, 2021, 97:e706-e719.
- [2] Tedla JS, Sangadala DR, Reddy RS, Gular K, Kakarparthi VN, Asiri F. Transcranial direct current stimulation (tDCS) effects on upper limb motor function in stroke: an overview review of the systematic reviews[J]. *Brain Inj*, 2023, 37:122-133.
- [3] Salehinejad MA, Nejati V, Mosayebi-Samani M, Mohammadi A, Wischnewski M, Kuo MF, Avenanti A, Vicario CM, Nitsche MA. Transcranial direct current stimulation in ADHD: a systematic review of efficacy, safety, and protocol - induced electrical field modeling results [J]. *Neurosci Bull*, 2020, 36: 1191-1212.
- [4] Ko MH. Safety of transcranial direct current stimulation in neurorehabilitation[J]. *Brain Neurorehabil*, 2021, 14:e9.
- [5] Monte-Silva K, Kuo MF, Hessenthaler S, Fresnoza S, Liebetanz D, Paulus W, Nitsche MA. Induction of late LTP-like plasticity in the human motor cortex by repeated non - invasive brain stimulation[J]. *Brain Stimul*, 2013, 6:424-432.
- [6] Neurology Branch, Chinese Medical Association; Cerebrovascular Disease Group, Neurology Branch, Chinese Medical Association. Diagnostic criteria of cerebrovascular diseases in China (version 2019)[J]. *Zhonghua Shen Jing Ke Za Zhi*, 2019, 52:710-715.[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. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52:710-715.]
- [7] Wang YL. Rehabilitation evaluation and assessment [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008: 162-163.[王玉龙. 康复功能评定学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 162-163.]
- [8] Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician[J]. *J Psychiatr Res*, 1975, 12:189-198.
- [9] Fuentes Calderón MA, Miralles AN, Pimentá MJ, Estella JMG, Ledesma MJS. Analysis of the factors related to the effectiveness of transcranial current stimulation in upper limb motor function recovery after stroke: a systematic review [J]. *J Med Syst*, 2019, 43:69.
- [10] Platz T, Pinkowski C, van Wijck F, Kim IH, di Bella P, Johnson G. Reliability and validity of arm function assessment with standardized guidelines for the Fugl - Meyer Test, Action Research Arm Test and Box and Block Test: a multicentre study [J]. *Clin Rehabil*, 2005, 19:404-411.
- [11] Yozbatiran N, Der - Yeghiaian L, Cramer SC. A standardized approach to performing the action research arm test [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2008, 22:78-90.
- [12] Yang J, Meng DH, Shao ZY, Cheng Q, Wang MT, Yin ZF. High frequency transcranial magnetic stimulation combined with mirror therapy improves upper limb motor function post-stroke [J]. *Zhonghua Wu Li Yi Xue Yu Kang Fu Za Zhi*, 2018, 40:91-95.[杨剑, 孟殿怀, 邵中洋, 程清, 王梦婷, 殷稚飞. 高频经颅磁刺激联合镜像治疗对男性脑卒中患者上肢功能恢复的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40:91-95.]
- [13] The Writing Committee of the Report on Cardiovascular Health and Diseases Burden in China. Report on cardiovascular health and diseases burden in China: an updated summary of 2020[J]. *Zhongguo Xun Huan Za Zhi*, 2021, 36:521-545.[中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2020 概要 [J]. *中国循环杂志*, 2021, 36:521-545.]
- [14] Wang W, Song WQ, Zhang YM, Hu J, Yan L, Zhang DH. Effect of transcranial direct current stimulation on upper limb motor function for patients with stroke [J]. *Zhongguo Kang Fu Li Lun Yu Shi Jian*, 2021, 27:1082-1086.[王伟, 宋为群, 张艳明, 胡洁, 严莉, 张大华. 经颅直流电刺激对脑卒中患者上肢运动功能康复的效果 [J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27:1082-1086.]
- [15] Bashir S, Aisha D, Hamza A, Al-Hussain F, Yoo WK. Effects of transcranial direct current stimulation on cortex modulation by stimulation of the primary motor cortex and parietal cortex in humans[J]. *Int J Neurosci*, 2021, 131:1107-1114.
- [16] Bornheim S, Croisier JL, Maquet P, Kaux JF. Transcranial direct current stimulation associated with physical - therapy in acute stroke patients: a randomized, triple blind, sham - controlled study[J]. *Brain Stimul*, 2020, 13:329-336.
- [17] Logothetis NK, Kayser C, Oeltermann A. In vivo measurement of cortical impedance spectrum in monkeys: implications for signal propagation[J]. *Neuron*, 2007, 55:809-823.
- [18] Vimolratana O, Lackmy - Vallee A, Aneksan B, Hiengkaew V, Klomjai W. Non - linear dose response effect of cathodal transcranial direct current stimulation on muscle strength in young healthy adults: a randomized controlled study [J]. *BMC Sports Sci Med Rehabi*, 2023, 15:10.
- [19] Jamil A, Batsikadze G, Kuo HI, Labruna L, Hasan A, Paulus W, Nitsche MA. Systematic evaluation of the impact of stimulation intensity on neuroplastic after - effects induced by transcranial direct current stimulation [J]. *J Physiol*, 2017, 595: 1273-1288.

(收稿日期: 2023-05-18)

(本文编辑: 柏钰)