

· 综述 ·

DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2024.08.012

经颅直流电刺激在脑卒中后感觉障碍康复中的研究进展

刘丹丹¹, 焦睿²✉

(1. 南方医科大学, 广东 广州 510515; 2. 深圳大学第二附属医院, 广东 深圳 518100)

【摘要】 脑卒中是一种常见的神经系统疾病, 脑卒中后的感觉障碍是脑卒中常见的并发症之一, 对患者的运动功能和活动参与产生严重的负面影响。经颅直流电刺激(tDCS)是一种利用1~2 mA直流电调节大脑皮质的技术, 具有无创、安全性高且患者耐受性好的优点。本研究阐述了tDCS治疗脑卒中后感觉障碍的理论基础和作用机制, 并对tDCS在脑卒中后感觉障碍的应用进行了分析与总结, 证实了tDCS的有效性, 为tDCS在脑卒中后康复领域的进一步临床研究提供了有力支持。

【关键词】 经颅直流电刺激; 脑卒中; 感觉障碍; 康复

Research progress in application of transcranial direct current stimulation in rehabilitation of post-stroke sensory disorder

LIU Dandan¹, JIAO Rui²✉

(1. Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. The Second Affiliated Hospital of Shenzhen University, Shenzhen 518100, China)

Corresponding author: JIAO Rui, E-mail: jr126@163.com

【Abstract】 Stroke is a common neurological disease. Post-stroke sensory disorder is one of the common complications of stroke, which has severe negative impact on motor function and activity participation of patients. Transcranial direct current stimulation (tDCS), a technique that uses 1 to 2 mA of direct current to modulate the cerebral cortex, is non-invasive, safe and well tolerated by patients. This study elaborates on the theoretical basis and mechanism of action of tDCS in treating post-stroke sensory disturbances, and analyzes and summarizes the application of tDCS in post-stroke sensory disturbances, confirming the effectiveness of tDCS, providing strong support for further clinical research of tDCS in the field of post-stroke rehabilitation.

【Key words】 Transcranial direct current stimulation; Stroke; Sensory disorder; Rehabilitation

脑卒中作为一种常见的神经系统疾病, 不仅对患者的运动功能和日常活动造成严重的负面影响, 而且也是造成死亡和伤残的主要原因之一^[1]。脑卒中后的感觉障碍是脑卒中常见的并发症之一, 影响多种感觉功能, 包括触觉、痛觉、温度觉及关节位置觉等。近60%的急性脑卒中患者至少会出现一种感觉障碍^[2], 而在慢性脑卒中患者中, 这一比例甚至达到70%以上^[3]。这些感觉障碍对患者的运动功能和康复依从性产生了不利影响^[4-5]。近

年来, 经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)作为一种神经调控技术, 利用1~2 mA直流电对大脑皮质进行调节^[6], 具有无创、安全性高、受试者耐受性好等优点, 在治疗脑卒中后感觉障碍领域逐渐受到关注。然而, 目前对tDCS在脑卒中后感觉障碍康复应用方面的研究尚缺乏系统性的总结, 因此本研究总结了近年来tDCS在脑卒中后感觉障碍康复中的应用进展, 以期为其临床应用提供指导。

收稿日期: 2024-04-23

基金项目: 广东省教育厅2021年度广东省临床教学基地教学改革研究项目(2021JD080); 深圳市宝安区医学会2023—2024年度医疗卫生科研项目(BAYXH2023032)

作者简介: 刘丹丹, 研究方向: 脑刺激技术, E-mail: 1348977636@qq.com; 焦睿, 通信作者, 副主任医师, 研究方向: 脑刺激技术、肢体痉挛和肌骨超声, E-mail: jr126@163.com

1 tDCS 治疗脑卒中后感觉障碍的理论基础

1.1 脑卒中后感觉障碍

脑卒中患者常出现感觉障碍,包括触觉、痛觉、温度觉、关节位置觉等。而不同感觉障碍的产生与脑卒中患者大脑的损伤部位有关。例如,两点辨别觉障碍和大脑 S1 或 S2 区域的损伤有关,触觉和本体感觉障碍与额皮质下区域和外囊的损伤明显相关,本体感觉还与顶叶联合皮层下区域和核壳的损伤有关^[2,3]。脑卒中还可能引发卒中后疼痛,这种疼痛与冷热觉的障碍明显相关,可能是由受损的脊髓丘脑束引起^[7-8]。研究表明,与无慢性疼痛患者相比,具有慢性疼痛的脑卒中患者感觉障碍的发病率明显更高,这表明脑卒中后感觉障碍与卒中后慢性疼痛关系密切^[3]。

在脑卒中后感觉障碍康复过程中,部分患者脑卒中后 3 个月内感觉障碍可以得到一定的改善,脑卒中 12 个月后仍存在感觉障碍的患者比例会有所下降^[2,3]。这种现象通常归因于脑卒中早期出现的神经可塑性增强,以及伴随的自发性神经生物学恢复,后者是脑卒中发病后 12 周内感觉障碍和运动功能障碍恢复的重要因素,而在脑卒中恢复期感觉障碍的自发恢复是运动功能障碍恢复的先决条件之一^[4]。然而,在这过程中,感觉功能的恢复和重组会增加对患侧半球的募集,进而延迟脑卒中后大脑对感觉的处理^[8]。此外,脑卒中患者的感觉障碍还与康复依从性密切相关,由于感觉运动障碍感觉,患者感觉肢体沉重,这种感觉在康复过程中可能导致患者的依从性降低^[5]。

1.2 tDCS

tDCS 是一种使用持续的微弱直流电刺激的神经调控技术,它通过在头皮和电极之间使用电解质作为电流传导介质来实现对大脑皮质的调节,因此 tDCS 也是一种无创的非侵入性技术。tDCS 一个周期的电流波形包括一次上升和下降。关于 tDCS 的治疗参数,包括电流强度、刺激持续时间和治疗时间等,已有研究进行了广泛回顾,根据这些研究,tDCS 在应用过程中显示了良好的安全性,没有出现严重的不良反应或导致不可逆性的损伤^[9]。

tDCS 两个电极的放置位置决定了电流方向及

刺激部位,电流方向与靶脑区的功能调节密切相关,很大程度上决定了刺激的有效性^[10]。根据电极放置的位置可将 tDCS 分为单侧 tDCS (unilateral-tDCS, ua-tDCS) 和双侧 tDCS (bilateral-tDCS, bi-tDCS)^[11]。ua-tDCS 包括两种模式:一是阳极刺激 (anode-tDCS, a-tDCS),阳极放置在患侧的目标脑区,阴极放置于对侧眼眶上缘或后背,以期提高目标脑区兴奋性;二是阴极刺激 (cathode-tDCS, c-tDCS),阴极放置在健侧的目标脑区,阳极放置于对侧眼眶上缘或后背,达到抑制目标脑区兴奋性的目的。bi-tDCS 也称为双极刺激 (dual pole-tDCS, dual-tDCS),是将阳极放置于目标脑区,阴极放置在对侧脑区,结合两个电极的特性进行治疗^[11]。

2 tDCS 治疗脑卒中后感觉障碍的作用机制

tDCS 两个电极的特性不同,与 c-tDCS 相比,a-tDCS 可以明显增加刺激部位区域的脑血流量^[12]。a-tDCS 通过使细胞膜发生去极化,增加电活动及增强体感诱发电位振幅来调节大脑的兴奋性。a-tDCS 开始后刺激区域的感觉门控明显增加,而感觉门控作为神经中枢的一种抑制机制,可以减少大脑对重复和冗余感官信息的处理^[10,13]。c-tDCS 则通过抑制过度兴奋的大脑皮质调节大脑性能。bi-tDCS 结合了两个电极的特性,应用 a-tDCS 促进同侧皮质兴奋性和 c-tDCS 抑制对侧皮质兴奋性的机制^[11,14]。因此,tDCS 可促进大脑中枢神经对内外刺激做出反应,进而重组大脑功能,促进各结构连接,有利于调节脑功能和诱导神经可塑性^[14]。

有研究通过计算 bi-tDCS、a-tDCS 以及 c-tDCS 前、后静息态头皮表面的电势差 (EEG 信号) 的复杂程度发现 bi-tDCS 影响的脑区范围最大,其中 bi-tDCS 刺激后双侧脑区的 EEG 信号复杂度升高,a-tDCS 刺激后患侧脑区的 EEG 信号复杂度升高,c-tDCS 刺激后健侧脑区的 EEG 信号复杂度升高^[11]。

目前的研究表明 tDCS 作用机制复杂,涉及到脑血流改变、神经重塑等,且 a-tDCS 和 c-tDCS 的刺激效果稍有不同,更深层的作用机制,比如脑网络的探究等需要继续深入研究。

3 tDCS在脑卒中后感觉障碍康复中的临床研究

3.1 支持tDCS应用于脑卒中后感觉障碍康复的研究

在国外研究中, tDCS对脑卒中患者恢复期的感觉功能改善显示出积极的效果。Bornheim等^[15]的研究纳入50例发病48 h后的缺血性脑卒中患者, 实验组的阳极置于患侧初级运动皮层, 阴极置于对侧眼(C3/Fp2或C4/Fp1), 使用1 mA的tDCS刺激, 20 min/次, 5次/周, 持续4周, 对照组进行假tDCS治疗, 结果显示治疗3周后实验组和对照组Semmes-Weinstein单丝检查(Semmes-Weinstein monofilament test, SWMT)感觉存在显著差异, 且在3个月后效果保持稳定。Koo等^[12]对24例缺血性或出血性脑卒中发病小于1个月的患者进行10次治疗, 实验组阳极置于患侧初级感觉皮层S1, 阴极置于对侧眶上区域上方, 进行1 mA持续20 min的tDCS, 对照组进行假刺激, 治疗后, 实验组在修订后的诺丁汉感觉功能评价量表(revised Nottingham sensory assessment scale, reNSA)得分明显更高。Lima等^[16]对1例发病2个月的出血性脑卒中患者进行了bi-tDCS, 阳极置于患侧半球的M1上, 阴极置于对侧半球的小脑上, 给予2 mA电流刺激, 持续20 min, 治疗结果显示患者感觉功能得到了改善。Abualait^[17]对1例缺血性右额顶叶损伤的患者进行了类似研究, 结果显示, 与假刺激相比, bi-tDCS明显改善了患者的触觉。

国内的研究亦显示了tDCS对脑卒中患者的感觉功能恢复的效果。王超等^[18]的研究表明, 接受2个月的tDCS结合感觉功能训练组患者的两点辨别觉及感觉阈值均低于只进行感觉功能训练组。李冲^[19]的研究显示干预后bi-tDCS刺激组SWMT、两点辨别觉测试(two-point discrimination, 2PD)、改良版诺丁汉感觉功能评价量表(reversed Nottingham Sensory Function Assessment Scale, reNSA)及感觉神经定量检测结果较实验前明显改善, 治疗后实验组较假刺激对照组2PD、reNSA和感觉神经定量检测的改善程度大(P 均 < 0.05), 刺激方案为2 mA、20 min/次、5次/周、共4周的bi-tDCS刺激, 阳极放置在患侧初级感觉皮层, 阴极放置在健侧初级感觉皮层。谭娟等^[20]对40例发病1年左右的脑卒中后中枢性疼痛患者进行不

同时间的tDCS, 一组刺激时间为20 min/次, 另一组刺激时间为30 s/次, 将阳极置于患侧初级运动皮层(M1区), 阴极置于患者对侧眶上区, 给予2 mA的tDCS刺激, 结果显示, 20 min/次刺激组治疗后视觉模拟评分法(Visual Analogue Scale, VAS)分数低于治疗前($P < 0.05$), 并且明显低于30 s/次刺激组($P < 0.05$)。郭丽云等^[21]和王伟等^[22]使用上肢Fugl-Meyer评估量表的躯体感觉部分对患者的感觉状况进行评估, 结果发现a-tDCS后患者的感觉评分明显高于假刺激后的患者($P < 0.01$)。Xu等^[23]的研究纳入了脑卒中发病大于6个月的患者, 根据所给予的刺激不同将其分为3组: 一组进行经颅交流电刺激(transcranial alternating current stimulation, tACS)和bi-tDCS, 一组进行单纯的tACS, 一组进行假tACS和tDCS; tDCS的阳极置于Fpz, 阴极置于健侧半球, 给予双侧tDCS刺激, 结果显示只有tACS和tDCS的联合治疗组与基线相比提高了视觉表现, 3组效果相比, tACS联合tDCS>tACS>假tACS联合tDCS。

以上国内外研究普遍支持tDCS用于脑卒中后感觉障碍的康复治疗, 尽管这些研究在受试者纳入标准、治疗参数等方面不尽相同, 但仍能为我们提供一些参考, 有助于指导临床实践。

3.2 不支持tDCS应用于脑卒中后感觉障碍康复的研究

Muffel等^[10]的研究纳入了首发脑卒中6个月以上的24例患者, 每隔1周进行ua-tDCS、bi-tDCS及假tDCS刺激, 结果显示bi-tDCS和ua-tDCS这两种设置会导致无视觉反馈的手臂位置匹配的降低。在无视觉反馈的评估中, 参与者需要在患侧感觉皮质中处理感觉信息, 再和对侧感觉皮质所接收的位置进行比较。因此参与者只能利用本体感觉输入的信息, 这一过程大脑的活动复杂导致tDCS不利于脑卒中后本体感觉恢复。Llorens等^[24]对29例脑卒中患者进行临床试验, 其中实验组基于虚拟现实(virtual reality, VR)系统进行tDCS, 并配合常规物理治疗, 对照组仅接受常规的物理治疗, 干预后2组间reNSA总分、触觉分、动觉分、立体认知分无统计学差异。姜妍^[25]对30例脑卒中患者的患侧大脑进行了研究, 实验组接受刺激强度为1~1.5 mA、20 min/次、5次/周、疗程2周的a-tDCS, 对照组接受假刺激, 治疗后2组患者的手感觉功能均有改善, 但是组间差异无统计意义。Baik等^[7]对22例首发脑卒中患者进行5次/周、

持续2周的tDCS,结果显示干预前后简短疼痛量表评分没有明显差异。Yague等^[26]对19例急性期脑卒中患者进行了双盲、随机试验,试验组tDCS阳极放置于患侧运动皮层M1手区(C3/C4),阴极放置于健侧运动皮层的相同区域,对照组进行假tDCS,研究发现,治疗前后组间SEP差异没有统计学意义。Larcombe等^[27]和Räty等^[28]对tDCS是否改善卒中后视觉障碍进行了研究,结果显示tDCS不能改善参与者的视觉功能,对视觉表现没有影响。

综上所述,尽管tDCS在某些研究中显示出对卒中后感觉障碍疗效,但也有研究未能发现其对改善卒中后感觉障碍的明显效果。这些结果提示我们在临床应用tDCS时需要更加谨慎,并进一步探索其作用机制和最佳应用方案。

3.3 tDCS治疗卒中后感觉障碍效果的影响因素

年龄和病种对卒中后感觉障碍的治疗效果影响较小,而病程对tDCS治疗感觉障碍的效果有一定影响。在支持tDCS能改善卒中后浅感觉或本体感觉障碍的研究中^[12, 15, 19-21],大多纳入了病程小于6个月的参与者,并发现tDCS能明显改善卒中后浅感觉和本体感觉障碍;仅有少数研究针对卒中中1年左右或2年患者,也观察到tDCS对卒中后浅感觉障碍改善^[17, 20]。相比之下,那些发现tDCS对卒中后浅感觉或本体感觉障碍治疗效果不明显的研究^[7, 10, 13, 24],通常纳入了病程超过6个月的患者。其中病程在6个月以上患者在使用tDCS后,会对卒中后本体感觉产生消极影响^[10]。纳入患者病程约9个月的研究发现,tDCS对卒中后浅感觉的治疗效果不明显^[24]。另有一项临床研究对卒中中1个月左右的患者进行tDCS刺激,发现治疗效果与假刺激相比并不明显^[25]。此外,病程对tDCS改善卒中后的感觉传导通路也有明显影响,对急性期脑卒中患者进行tDCS并没有显著改善SEPs等神经生理数据^[26],而对病程大于6个月的患者则有明显影响^[29]。

治疗参数对tDCS治疗卒中后的浅感觉和本体感觉障碍的效果也有一定影响。谭娟等^[20]的研究显示,20 min/次比30 s/次的tDCS更能改善卒中后中枢性疼痛。电极放置位置同样关键,与阳极置于患侧运动皮层的M1手区(C3/C4)、阴极置于对侧相同位置的bi-tDCS相比,4个阴极包围放置在初级皮层中心阳极的tDCS干预更能对躯体感觉诱发电位产生明显影响^[26, 29]。Xu等^[23]将

tDCS阳极置于Fpz,阴极置于健侧半球上方,进行tDCS和tACS的联合治疗,结果改善了视觉表现。Larcombe等^[27]给予患侧a-tDCS,阳极沿乳突线放置在枕骨隆突上方3 cm,矢状面中线旁6 cm,阴极放置在顶点,结果显示对视觉表现没有影响。Räty等^[28]使用双侧双模式tDCS刺激,一对电极的阳极刺激患侧半球,另一对电极的阴极刺激健侧半球,与假刺激相比tDCS只增加了对侧眼的视野,不对卒中后视觉障碍恢复产生主要影响。

综上所述,tDCS治疗卒中后感觉障碍的效果受到病程、治疗参数和电极放置位置等多种因素的影响。未来的研究需要进一步探索这些因素如何综合作用,以及如何优化tDCS治疗方案,以提高治疗效果,促进患者的康复。

3.4 tDCS治疗卒中后感觉障碍相关研究的不足

在当前的实验设置中,大多数研究并未采用单一的tDCS治疗,而是将其与药物治疗、常规物理治疗、作业治疗、感觉功能训练等适宜技术联合进行治疗,还有部分研究探索了tACS、TMS这两种非侵入性脑刺激技术与VR技术联合使用的效果。临床研究使用的tDCS刺激模式,电极放置位置,以及治疗参数(电极面积、电流强度、持续时间)的选择都有所差异。此外,不同研究中关于tDCS治疗卒中后感觉障碍的疗程设置也不尽相同,使用的评估方法和评估时间点亦略有差异。研究之间入选者的年龄、病程、卒中类型等可能也存在较大差异。这些因素均可能对研究结果的一致性和可比性造成影响。

4 总结与展望

tDCS作为一种非侵袭性技术,在卒中后感觉障碍的临床治疗中已经得到了广泛的应用。尽管如此,关于tDCS在卒中后感觉障碍康复中的效果,现有研究结果仍存在矛盾。这些矛盾可能源于多个方面,包括参与者纳入标准、实验设计、电极放置位置以及治疗参数等。为了提高治疗效果,未来的研究需要进一步合理地设计临床研究,优化电极放置位置(治疗靶点)和治疗参数,选择多个治疗参数并探索最优值,扩大样本量等。通过上述措施,我们期待tDCS在卒中后感觉障碍的康复治疗中发挥更大的作用,为患者带来更有效的治疗方案。

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. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30427-1.
- [2] KESSNER S S, SCHLEMM E, CHENG B, et al. Somatosensory deficits after ischemic stroke[J]. *Stroke*, 2019, 50 (5): 1116-1123. DOI: 10.1161/STROKEAHA.118.023750.
- [3] HASLAM B S, BUTLER D S, KIM A S, et al. Somatosensory impairment and chronic pain following stroke: an observational study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20 (2): 906. DOI: 10.3390/ijerph20020906.
- [4] ZANDVLIET S B, KWAKKEL G, NIJLAND R H M, et al. Is recovery of somatosensory impairment conditional for upper-limb motor recovery early after stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2020, 34 (5): 403-416. DOI: 10.1177/1545968320907075.
- [5] CHEN Y, YANG H, CHEN Y, et al. Limb heaviness as a sensorimotor disorder alters rehabilitation adherence after a stroke[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 840808. DOI: 10.3389/fneur.2022.840808.
- [6] 焦睿, 陈尚杰, 余淑芳. 经颅直流电对痉挛的治疗作用研究进展[J]. *新医学*, 2019, 50 (7): 481-484. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2019.07.001.
- JIAO R, CHEN S J, YU S F. Research progress on the clinical efficacy of transcranial direct current stimulation on spasm[J]. *J New Med*, 2019, 50 (7): 481-484. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2019.07.001.
- [7] BAIK J S, YANG J H, KO S H, et al. Exploring the potential of transcranial direct current stimulation for relieving central post-stroke pain: a randomized controlled pilot study[J]. *Life*, 2023, 13 (5): 1172. DOI: 10.3390/life13051172.
- [8] WILLIAMSON J N, SIKORA W A, JAMES S A, et al. Cortical reorganization of early somatosensory processing in hemiparetic stroke[J]. *J Clin Med*, 2022, 11 (21): 6449. DOI: 10.3390/jcm11216449.
- [9] BIKSON M, GROSSMAN P, THOMAS C, et al. Safety of transcranial direct current stimulation: evidence based update 2016[J]. *Brain Stimul*, 2016, 9 (5): 641-661. DOI: 10.1016/j.brs.2016.06.004.
- [10] MUFFEL T, SHIH P C, KALLOCH B, et al. Differential effects of anodal and dual tDCS on sensorimotor functions in chronic hemiparetic stroke patients[J]. *Brain Stimul*, 2022, 15 (2): 509-522. DOI: 10.1016/j.brs.2022.02.013.
- [11] 易瑾希, 张雯, 李千千, 等. 肩部矫形器在脑卒中后异常步态康复中的研究进展[J]. *新医学*, 2022, 53 (12): 882-886. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2022.12.004.
- YI J X, ZHANG W, LI Q Q, et al. Research progress on the application of shoulder orthosis in rehabilitation of abnormal gait post-stroke hemiplegia[J]. *J New Med*, 2022, 53 (12): 882-886. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2022.12.004.
- [12] KOO W R, JANG B H, KIM C R. Effects of anodal transcranial direct current stimulation on somatosensory recovery after stroke: a randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2018, 97 (7): 507-513. DOI: 10.1097/PHM.0000000000000910.
- [13] MONTORO C I, WINTERHOLLER C, TERRASA J L, et al. Somatosensory gating is modulated by anodal transcranial direct current stimulation[J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 651253. DOI: 10.3389/fnins.2021.651253.
- [14] GHOBADI-AZBARI P, JAMIL A, YAVARI F, et al. fMRI and transcranial electrical stimulation (tES): a systematic review of parameter space and outcomes[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2021, 107: 110149. DOI: 10.1016/j.pnpb.2020.110149.
- [15] BORNHEIM S, CROISIER J L, 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.
- [16] 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*, 2023, 23 (23): 9302. DOI: 10.3390/s23239302.
- [17] ABUALAIT T S. Effects of transcranial direct current stimulation of primary motor cortex on cortical sensory deficits and hand dexterity in a patient with stroke: a case study[J]. *J Int Med Res*, 2020, 48 (4): 300060519894137. DOI: 10.1177/0300060519894137.
- [18] 王超, 牛德旺, 吴文波. tDCS疗法应用于脑卒中后偏瘫患者的效果及对感觉功能的影响分析[J]. *医学理论与实践*, 2021, 34 (14): 2533-2534. DOI: 10.19381/j.issn.1001-7585.2021.14.079.
- WANG C, NIU D W, WU W B. Analysis of the effect of tDCS therapy on hemiplegic patients after stroke and its influence on sensory function[J]. *J Med Theory Pract*, 2021, 34 (14): 2533-2534. DOI: 10.19381/j.issn.1001-7585.2021.14.079.
- [19] 李冲. 经颅直流电刺激联合手脑感知训练对亚急性期脑卒中上肢感觉运动功能的疗效研究[D]. 上海: 上海体育学院, 2023. DOI: 10.27315/d.cnki.gstyx.2023.000374.
- LI C. Effect of transcranial direct current stimulation combined with sensorimotor therapy on upper limb function in subacute stroke patients[D]. Shanghai: Shanghai University of Sport, 2023. DOI: 10.27315/d.cnki.gstyx.2023.000374.
- [20] 谭娟, 李晓敏, 苟晨, 等. 经颅直流电刺激对脑卒中后中枢性疼痛患者的镇痛效果研究[J]. *川北医学院学报*, 2021, 36 (6): 753-756. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3697.2021.06.018.
- TAN J, LI X M, GOU C, et al. Study on the analgesic effect of transcranial direct current stimulation on central post-stroke pain[J]. *J N Sichuan Med Coll*, 2021, 36 (6): 753-756. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3697.2021.06.018.
- [21] 郭丽云, 降凌燕, 赵亚路. 经颅直流电刺激结合感觉功能训练对脑卒中后感觉障碍的疗效观察[J]. *中国康复*, 2018,

- 33 (6): 472-475. DOI: 10.3870/zgkf.2018.06.009.
- GUO L Y, JIANG L Y, ZHAO Y L. Effect of transcranial direct current stimulation plus sensory function training on sensory dysfunction following stroke[J]. *Chin J Rehabil*, 2018, 33 (6): 472-475. DOI: 10.3870/zgkf.2018.06.009.
- [22] 王伟, 宋为群, 张艳明, 等. 经颅直流电刺激结合感觉训练对卒中后感觉障碍及手功能的疗效分析[J]. *中国脑血管病杂志*, 2021, 18 (5): 289-295. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2021.05.001.
- WANG W, SONG W Q, ZHANG Y M, et al. Effect of transcranial direct current stimulation combined with sensory training on somatosensory recovery and hand function after stroke[J]. *Chin J Cerebrovasc Dis*, 2021, 18 (5): 289-295. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2021.05.001.
- [23] XU J, WU Z, NÜRNBERGER A, et al. Reorganization of brain functional connectivity network and vision restoration following combined tACS-tDCS treatment after occipital stroke[J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 729703. DOI: 10.3389/fneur.2021.729703.
- [24] LLORENS R, FUENTES M A, BORREGO A, et al. Effectiveness of a combined transcranial direct current stimulation and virtual reality-based intervention on upper limb function in chronic individuals post-stroke with persistent severe hemiparesis: a randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18 (1): 108. DOI: 10.1186/s12984-021-00896-2.
- [25] 姜妍. 经颅直流电刺激治疗脑卒中后手功能障碍的疗效观察[D]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2020. DOI: 10.27231/d.cnki.gnmyc.2020.000100.
- JIANG Y. Therapeutic effect of transcranial direct current stimulation on hand dysfunction after stroke[D]. Hohhot: Inner Mongolia Medical University, 2020. DOI: 10.27231/d.cnki.gnmyc.2020.000100.
- [26] YAGÜE S, VECIANA M, MARTÍNEZ-YÉLAMOS A, et al. Effects of bihemispheric transcranial direct current stimulation combined with repetitive peripheral nerve stimulation in acute stroke patients[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2023, 40 (1): 63-70. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000840.
- [27] LARCOMBE S J, KULYOMINA Y, ANTONOVA N, et al. Visual training in hemianopia alters neural activity in the absence of behavioural improvement: a pilot study[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2018, 38 (5): 538-549. DOI: 10.1111/opo.12584.
- [28] RÄTY S, BORRMANN C, GRANATA G, et al. Non-invasive electrical brain stimulation for vision restoration after stroke: an exploratory randomized trial (REVIS)[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2021, 39 (3): 221-235. DOI: 10.3233/RNN-211198.
- [29] JAYAN J, NARAYAN S K, HANIFFA Y N, et al. Somatosensory evoked potentials amplitude is enhanced after non-invasive brain stimulation in chronic ischemic stroke: preliminary results from a randomised control trial[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2024, 33 (1): 107418. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2023.107418.

(责任编辑: 郑巧兰)