

tDCS联合肌电生物反馈改善脑卒中上肢运动功能障碍的疗效观察

肖露¹, 代菁², 樊巍¹, 刘茂竹¹, 肖少华¹

【摘要】 目的:探讨经颅直流电(tDCS)联合肌电生物反馈对脑卒中上肢运动功能障碍的疗效。方法:60例脑卒中患者按随机数字表法分为对照组和联合组各30例,2组均进行常规康复训练,对照组在此基础上采用肌电生物反馈,联合组采用tDCS联合肌电生物反馈治疗。在治疗前和治疗6周后,分别采用Fugl-Meyer上肢评定量表(FMA-UE)、改良Barthel指数(MBI)对患者进行评定,并测定患侧肩外展及腕背伸时的表面肌电均值(sEMG)。结果:治疗6周后,2组患者FMA-UE、MBI评分及肩外展和腕背伸时的表面肌电均值较治疗前比较均明显提高($P<0.05, 0.01$),且联合组的上述指标较对照组均更高(均 $P<0.05$)。结论:tDCS联合肌电生物反馈能较好地改善脑卒中患者的上肢功能障碍,治疗作用优于单一的肌电生物反馈疗法。

【关键词】 经颅直流电;肌电生物反馈;脑卒中;上肢运动功能障碍

【中图分类号】 R49;R743.3 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2020.09.003

Effectiveness of transcranial direct current stimulation combined with electromyographic biofeedback for motor recovery of upper extremities after stroke Xiao Lu, Dai Jing, Fan Wei, et al. Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: To observe the effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with electromyographic (EMG) biofeedback electrical stimulation on upper limb motor function in patients with stroke. **Methods:** Sixty stroke patients were randomly divided into control group and combined treatment group with 30 cases in each group. Both groups received routine rehabilitation training. Additionally, the control group received myoelectric biofeedback, and the combined treatment group received tDCS combined with myoelectric biofeedback. Before and after 6 weeks of treatment, the patients were assessed with the upper extremity portion of the Fugl-Meyer motor assessment (FMA-UE) and modified Barthel Index (MBI), and the mean surface electromyography (sEMG) of shoulder abduction and wrist dorsiflexion was measured. **Results:** After 6 weeks of treatment, the scores of FMA-UE and MBI and the mean value of surface electromyography during shoulder abduction and wrist dorsiflexion in both groups were significantly higher than those before treatment ($P<0.05$, and $P<0.01$), and the above indexes in the combined treatment group were higher than those in the control group (all $P<0.05$). **Conclusions:** The combined use of tDCS with biofeedback can be more effective than biofeedback alone for improving the upper limb motor function and activities of daily living of stroke patients.

【Key words】 transcranial direct current stimulation; electromyographic biofeedback; stroke; upper limb function

上肢运动功能障碍是脑卒中患者最常见的运动功能障碍之一,约55%~75%的患者遗留不同程度的上肢功能障碍^[1],严重影响着患者日常生活独立能力和生活质量^[2]。如何有效地改善患者的上肢功能依旧是康复医学界研究探索的热点、难点。近年来,“中枢-外周-中枢”闭环康复理论为脑卒中上肢功能康复提供了新视角^[3]。肌电反馈治疗是神经肌肉电刺激和生物反馈有机结合的一种治疗方法,属于外周干预手段,在临

床应用中疗效确切、应用成熟^[4-5]。经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)是一种新兴的非侵入性脑刺激技术^[6],利用低强度的恒定直流电调节大脑目标区域的兴奋性,是一种潜在有效的神经调节技术,属于中枢干预手段。基于“中枢-外周-中枢”闭环康复的理论,本文探讨tDCS与肌电生物反馈同时联合对脑卒中后上肢功能障碍的疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究纳入2019年12月~2020年4月我院康复医学科收治的患者60例。纳入标准:首次发病或既往曾发腔隙性脑梗死但无后遗症;均经头颅CT或MRI诊断脑卒中,且符合中国脑血管疾病分

收稿日期:2020-06-04

作者单位:1.华中科技大学同济医学院附属同济医院,武汉430030;2.湖北省直属机关医院,武汉430000

作者简介:肖露(1990-),女,技师,主要从事手功能康复的研究。

通讯作者:肖少华, hua300259@qq.com

类 2015 诊断标准^[7]; 单侧偏瘫, 病程 1~3 个月; 肩外展及腕背伸肌力 1 级以上, 3 级以下; 患者或其授权委托人签署知情同意书。排除标准: 生命体征不稳定; 伴有严重心、肺、肝、肾等内科疾病者; 脑卒中后严重认知障碍或严重失语, 不能配合医嘱者; 上肢痉挛严重, 改良 Ashworth 分级 2 级以上; 治疗区皮肤损伤、痛觉过敏; 治疗区植入金属或体内有电子装置(如心脏起搏器)。采用随机数字表的方法将 60 例患者随机分为对照组和联合组各 30 例。2 组患者一般资料差异比较差异无统计学意义, 见表 1。

1.2 方法 2 组患者均给予常规康复训练, 包括运动疗法、物理因子治疗、针灸推拿、作业治疗等, 每次 40min, 1 次/d, 6 次/周, 共治疗 6 周。在此基础上, 对照组给予肌电生物反馈治疗, 联合组进行 tDCS 联合肌电生物反馈治疗。肌电触发电刺激: 采用南京伟思医疗科技有限责任公司提供的生物刺激反馈仪(Myo-Train V4.0.3 SA9800), 使用 EMG-Stim 治疗模式, 即肌电生物反馈。治疗部位选择肩外展肌(三角肌中束)和前臂腕伸肌群进行治疗。患者端坐于仪器前, 露出治疗部位, 使用 75% 酒精消毒, 然后分别将 2 个电极片置于治疗肌肉的肌腹上, 防干扰电极置于治疗电极之间。治疗时患者根据仪器提示音做肩外展及腕背伸动作, 治疗仪收集最大收缩状态下表面肌电值的 80% 作为肌电反馈阈值, 当肌肉收缩达到阈值诱发一次电刺激, 频率 50Hz, 波宽 400s, 持续 8s, 间隔 15s, 电刺激强度 15~40mA, 以诱发相应动作而不引起明显疼痛为原则。治疗仪通过音响和显示屏将提示音、肌电数据反馈给患者, 每次治疗 20min, 1 次/d, 6 次/周, 共治疗 6 周。当患者在治疗时痉挛情况严重或加重时, 暂停肌电生物反馈治疗。tDCS 刺激: 采用四川省智能电子实业有限公司的 IS200 型智能电刺激仪, 阳极作为治疗电极置于患侧大脑初级运动区(primary motor area, M1), 阴极作为参考电极置于对侧眶上裂。采用脑电图 1020 系统定位 M1 区, 即 C3 或 C4 点。电极片 4cm×5cm, 电极衬垫用 0.9% 生理盐水浸湿, 刺激强度 1.0~2.0mA, 平均刺激强度 1.2±0.47mA, 每次治疗 20min, 1 次/d, 6 次/周, 治疗 6 周。

1.3 评定标准 治疗前及治疗 6 周后对 2 组患者进行以下评估: ① Fugl-Meyer 上肢评定量表(the upper

extremity portion of the Fugl-Meyer motor assessment, FMA-UE)^[8], 通过一系列动作评测患侧上肢各关节运动功能情况, 共 33 个动作, 总计 66 分, 评分越高表示上肢运动功能越好; ② 改良 Barthel 指数(modified barthel index, MBI) 评估患者日常生活基本自理能力^[9], 共 10 项, 总分 100 分, 分数越高表示日常生活自理能力越好; ③ 表面肌电值(surface electromyography, sEMG), 测定三角肌中束和伸腕肌群最大等长收缩状态下 sEMG 均值, 值越大, 肌肉收缩情况越强。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 17.0 统计软件进行处理, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间及组内均数比较采用 *t* 检验, 以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

治疗过程中 2 组患者均无肌电生物反馈治疗暂停情况。治疗前 2 组患者 FMA-UE、MBI 评分及 sEMG 均值比较差异均无统计学意义。治疗 6 周后, 2 组患者 FMA-UE、MBI 评分及肩外展和腕背伸时的表面肌电均值较治疗前比较均明显提高($P < 0.05, 0.01$), 且联合组的上述指标较对照组均更高(均 $P < 0.05$), 见表 2。

表 2 2 组治疗前后 FMA-UE、MBI 评分及 sEMG 均值比较 $\bar{x} \pm s$

组别	n	时间	FMA-UE (分)	MBI (分)	sEMG(μV)	
					三角肌	伸腕肌群
对照组	30	治疗前	18.67±4.52	49.00±7.55	53.67±9.50	40.67±5.69
		治疗后	25.34±2.89 ^a	62.34±3.06 ^a	79.67±10.02 ^a	60.67±10.60 ^a
联合组	30	治疗前	21.34±3.21	50.67±10.21	53.67±11.15	40.34±11.50
		治疗后	34.34±5.03 ^{b,c}	78.34±3.51 ^{b,c}	98.67±5.03 ^{b,c}	91.67±15.82 ^{b,c}

与治疗前比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.01$; 与对照组比较, ^c $P < 0.05$

3 讨论

脑卒中后上肢功能障碍本质原因是由于相应的大脑区域中枢功能受到抑制所致, 其主要的康复治疗方法包括间接的“外周干预”和直接的“中枢干预”。“外周干预”以脑的可塑性理论为基础, 通过运动和感觉刺激反馈于中枢, 促进脑功能重塑和神经再支配, 包括运动疗法、作业治疗、物理因子治疗、生物反馈技术等。“中枢干预”则直接对相关脑区进行刺激, 激活脑区功能, 从而提高康复治疗的效率, 包括 tDCS、经颅磁刺

表 1 2 组患者一般资料比较

组别	n	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	偏瘫情况(例)		脑卒中类型(例)	
		男	女			左侧	右侧	脑出血	脑梗死
对照组	30	18	12	45.50±7.30	42.34±24.45	16	14	18	12
联合组	30	19	11	44.70±6.90	46.43±28.79	18	12	19	11

激、镜像治疗、运动想象疗法等。二者联合可以实现功能上的促进,形成“中枢-外周-中枢”的闭环康复理念^[3],即在特定脑区功能激活的状态下,给予相应的外周干预,能提高外周对中枢的正性反馈作用,从而有效针对脑损伤后皮质功能改变的本质问题。已有联合治疗的研究显示“中枢干预”与“外周干预”的联合治疗比单一干预手段疗效更佳^[5,10]。目前,tDCS作为一种新兴的大脑调节技术,临床应用中常应用于联合治疗,且具有操作简便、无创无痛、不良反应少等优势,在中枢神经康复领域应用潜力极大。而肌电生物反馈相比于其他“外周干预”手段拥有主动运动、神经肌肉电刺激、生物反馈的综合优势,多因素的应用,使更多的感觉的、运动的刺激反馈于中枢,更好的促进脑功能重塑和神经再支配,在临床康复中已广泛应用。因此,笔者猜测 tDCS 联合肌电生物反馈可作为治疗脑卒中后上肢功能障碍的一种潜在有效的方法。本研究结果发现,治疗 6 周后,对照组和联合组 FMA-UE、MBI 评分及 sEMG 均值均得到明显提高,且联合组优于对照组。表明肌电生物反馈对早期脑卒中患者上肢功能恢复具有积极意义,与 tDCS 同时联合治疗疗效更佳,证实了以上论述及猜测。

tDCS 是近年来新兴的一种非侵入性脑刺激技术,利用低强度的恒定直流电作用于大脑皮质,通过 tDCS 阳极刺激使神经细胞膜产生去极化从而提高大脑皮层兴奋性,通过 tDCS 阴极刺激使神经细胞膜产生超极化从而抑制大脑皮层兴奋性^[6]。Polania 等^[11]利用 fMRI 发现,tDCS 对初级运动区 M1 的刺激可增强运动前皮质、顶叶、丘脑、尾状核运动神经网的连接活性。另一项脑电图研究亦发现^[12],tDCS 阳极刺激初级运动皮质 M1 区,目标半球的运动前区、运动区、感觉运动区的功能性连接明显加强。既往有研究显示^[13],脑卒中患者上肢功能恢复与患侧 M1 区及其周围脑区神经功能息息相关。因此,笔者认为通过 tDCS 阳极刺激患侧大脑 M1 区可能有助于脑卒中患者上肢功能恢复。诸多临床研究和一项 Meta 分析证实了这一观点^[6,10,14]。

肌电生物反馈治疗通过治疗仪收集患者主动收缩时的肌电信号,当肌电值达到特定阈值时释放一次神经肌肉电刺激,辅助患者运动,向中枢系统输入大量的本体感觉和运动刺激,诱导运动皮层功能重塑,同时将肌电信号转化为可视听信号反馈于患者,不仅能指导患者运动,更能将运动功能的改善实时反馈给患者,充分调动患者的主观能动性和依从性。既往已有大量的学者研究显示^[4-5,15-16],肌电生物反馈对于脑卒中患者,能明显缓解痉挛、提高肌力、改善患者运动功能,从

而提高患者日常生活自理能力和生活质量。在本研究中,经过 6 周的肌电生物反馈治疗,对照组 FMA-UE、MBI 评分均得到明显提高,表明肌电生物反馈对改善脑卒中早期患者上肢运动功能及日常生活自理能力有积极作用。这与柯明慧等^[5]和许林海等^[17]的研究结果一致,肌电生物反馈应用于脑卒中上肢功能障碍,能提高目标肌肉收缩能力,改善上肢运动功能,提高 Brunnstrom 分期和日常生活自理能力。

综合以上论述及“中枢-外周-中枢”的闭环康复理念,笔者推测联合组疗效更佳的可能机制是:通过 tDCS 阳极刺激提高了患侧 M1 兴奋性,改善了与 M1 区及其功能相关的局部皮质和大脑网络的活动,使这些大脑区域处于易激活状态,在此状态下,通过联合肌电生物反馈刺激上肢运动,向 M1 区及其功能连接相关区输入大量的感觉的、运动的刺激,使得这些脑区激活度更高,易于这些脑区功能重塑或重组,从而得到更好的疗效。

但值得注意的是,tDCS 治疗方式包括阳极治疗、阴极治疗、双极治疗,本研究实验组仅探讨了 tDCS 阳极联合状态下治疗脑卒中后上肢运动功能的疗效。目前,已有研究发现^[18-19],tDCS 阴极刺激可以抑制病灶侧 M1 区的过度激活,通过缓解肢体痉挛以改善上肢运动功能。Bolognini 等^[20]的研究发现,tDCS 双极能改善脑卒中后期上肢运动功能,其机制与双侧大脑半球网络调节有关。因此,在今后的研究中,如何根据患者病情及功能状态发展个体化的最佳联合治疗模式需要临床更广泛的深入研究。

综上所述,tDCS 联合肌电生物反馈可有效改善脑卒中后早期患者的上肢功能,值得在临床进行推广和进一步研究。本研究的不足是评价指标多是半定量的康复量表,在今后的研究中应多加入功能影像学、电生理学等客观方法进行评价;其次是样本量较小,其长期治疗效果尚需多中心、大样本的随访研究进一步加以证实。

【参考文献】

- [1] Murray CJ, Lopez AD. Measuring the global burden of disease [J]. *N Engl J Med*, 2013, 369(5): 448-457.
- [2] Nam HU, Huh JS, Yoo JN, et al. Effect of dominant hand paralysis on quality of life in patients with subacute stroke [J]. *Ann Rehabil Med*, 2014, 38(4): 450-457.
- [3] 贾杰. “中枢-外周-中枢”闭环康复-脑卒中后手功能康复新理念 [J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(11): 1180-1182.
- [4] Steinle B, Corbaley J. Rehabilitation of stroke: a new horizon [J]. *Mo Med*, 2011, 108(4): 284-288.
- [5] 柯明慧,金星,孟兆祥,等. 镜像疗法结合肌电生物反馈对脑卒中恢复期患者上肢功能的影响 [J]. *中国康复*, 2020, 35(4): 183-

- 186.
- [6] 汪文静,李甲笠,张思聪,等. 经颅直流电刺激的作用机制及在卒中康复中的应用进展[J]. 中国康复,2019,34(10):535-539.
- [7] 陈艳,胡发云,吴波.《中国脑血管疾病分类 2015》解读[J]. 中国现代神经疾病杂志,2017,17(12):865-868.
- [8] Chun KS, Le YT, Park JW, et al. Comparison of Diffusion Tensor Tractography and Motor Evoked Potentials for the Estimation of Clinical Status in Subacute Stroke[J]. *Ann Rehabil Med*, 2016, 40(1):126-134.
- [9] Rah UW, Yoon SH, Moondo J, et al. Subacromial corticosteroid injection on poststroke hemiplegic shoulder pain: a randomized, triple-blind, placebo-controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012, 93(6):949-956.
- [10] 陈创,唐朝正,王桂丽,等. 经颅直流电刺激结合任务导向性训练改善脑卒中患者上肢运动功能的静息态 fMRI 研究[J]. 中国康复医学杂志,2016,31(11):1183-1188.
- [11] Polania R, Paulus W, Antal A, et al. Introducing graph theory to track for neuroplastic alterations in the resting human brain: a transcranial direct current stimulation study [J]. *Neuroimage*, 2011, 54(3):2287-2296.
- [12] Polania R, Nitsche MA, Paulus W. Modulating functional connectivity patterns and topological functional organization of the human brain with transcranial direct current stimulation [J]. *Hum Brain Mapp*, 2011, 32(8): 1236-1249.
- [13] Koski L, Mernar TJ, Dobkin BH. Immediate and long-term changes in corticomotor output in response to rehabilitation: correlation with functional improvements in chronic stroke [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2004, 18(4):230-249.
- [14] Butler AJ, Shuster M, OHara E, et al. A meta-analysis of the efficacy of anodal transcranial direct current stimulation for upper limb motor recovery in stroke survivors [J]. *J Hand Ther*, 2013, 26(2):162-170.
- [15] 焦泽玉,李雯,闫凤,等. 肌电生物反馈干预治疗急性期脑梗死患者肌容积改变的临床研究[J]. 中国康复,2018,33(6):490-492.
- [16] Cordo P, Wolf S, Lou JS, et al. Treatment of severe hand impairment following stroke by combining assisted movement, muscle vibration and biofeedback [J]. *J Neurol Phys Ther*, 2013, 37(4): 194-203.
- [17] 许林海,韩丽雅. 功能强化训练结合肌电生物反馈对急性脑卒中患者上肢功能的影响[J]. 中国康复,2015,30(3):185-188.
- [18] 曲斯伟,宋为群. 阴极经颅直流电刺激对卒中患者上肢运动功能的影[J]. 中国脑血管病杂志,2017,14(12):622-627.
- [19] Wu D, Qian L, Zorowitz RD, et al. Effects on decreasing upperlimb poststroke muscle tone using transcranial direct current stimulation: a randomized sham-controlled study [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2013, 94(1):1-8.
- [20] Bolognini N, Vallar G, Casati C, et al. Neurophysiological and behavioral effects of tDCS combined with constraint-induced movement therapy in posts troke patients [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2011, 25(9):819-829.

· 外刊拾粹 ·

运动训练联合电生理方法治疗膝骨关节炎

在高质量证据支持下,运动疗法目前被认为是膝骨关节炎(OA)的主要干预措施。这项研究评估了几种辅助治疗方法治疗膝骨关节炎的疗效。

这项前瞻性、双盲、随机对照试验纳入了 100 名年龄在 40 至 80 岁之间的膝骨关节炎患者。受试者分为五组:运动训练组、运动训练联合安慰剂组、运动训练联合干扰电疗法(interferential current therapy, ICT)组、运动训练联合短波透热疗法(shortwave diathermy therapy, SDT)组和运动训练联合光生物调节疗法(photobiomodulation, PHOTO)组。以最大无痛强度的 70% 进行重复训练,每次 90min,每周 3 次,共 8 周。

ICT 组患者接受 4kHz、1/1 s 扫描模式、75 Hz 的调频幅度(frequency modulation amplitude, FMA)、25 Hz FMA 增量的干扰电治疗,持续 40 分钟。SDT 组患者进行频率为 27.12 MHz 的热脉冲和 150W 输入功率的干预治疗,持续 20 分钟。PHOTO 组患者进行 8 个点 6J/cm²剂量的治疗,每次治疗的总剂量为 48J/cm²。主要结局指标是身体功能评估中的骨关节炎指数(WOMAC)。

除压力疼痛阈值外,所有干预组的结局指标均随时间推移有显著改善($P < 0.05$)。与所有其他组相比,运动训练组的 WOMAC 得分更高。与运动训练联合安慰剂组相比,仅运动训练联合 ICT 组的结果在统计学上有显著性差异($P < 0.05$)。

结论:这项对膝骨关节炎患者进行治疗性力量训练的研究并未发现通过联合电生理方法进行治疗可获得额外的益处。

(杨雅雯、王继先译)

de Paula Gomes C, et al. Exercise Program Combined with Electrophysical Modalities in Subjects with Knee Osteoarthritis; A Randomized, Placebo—Controlled, Clinical Trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020, 21(1):258. doi: 10/1186/s12891-020-03293-3.

中文翻译 由 WHO 康复培训与研究合作中心(武汉)组织
本期由 上海交通大学医学院附属瑞金医院 谢青教授 主译编