

· 脑卒中适宜技术 ·

经颅电刺激技术联合脑机接口技术对脑卒中患者认知功能及上肢功能的影响

扫描二维码
查看更多

袁艳秋, 张秀芳, 陈杰, 张莉, 张明

作者单位: 221003江苏省徐州市, 徐州医科大学附属徐州康复医院康复治疗部

通信作者: 张明, E-mail: zm1455@163.com

【摘要】 **目的** 探讨经颅电刺激技术联合脑机接口技术对脑卒中患者认知功能及上肢功能的影响。**方法** 选取2021年11月—2023年5月徐州医科大学附属徐州康复医院收治的94例脑卒中患者为研究对象, 采用随机数字表法将患者分为脑机接口组及联合组, 每组47例。脑机接口组患者接受脑机接口技术治疗, 联合组在脑机接口组的基础上接受经颅电刺激技术治疗, 均连续治疗4周。比较两组治疗前后认知功能〔简易精神状态检查量表 (MMSE) 评分、蒙特利尔认知评估量表 (MoCA) 评分、连线测验 (TMT) 完成时间、数字广度测验 (DST) 结果及Stroop色词干扰测验 (SCWT) 完成时间、正确数〕、脑电波指标 (α 、 β 、 δ 、 θ 波波幅)、上肢功能〔Fugl-Meyer运动功能评估量表上肢部分 (FMA-UE)、上肢动作研究量表 (ARAT) 评分〕及治疗期间不良反应发生率。**结果** 治疗后, 两组MMSE、MoCA评分分别高于同组治疗前, 且联合组高于脑机接口组 ($P < 0.05$); 治疗后, 联合组TMT-A、TMT-B、SCWT完成时间短于治疗前, DST结果、SCWT正确数多于治疗前, 且联合组TMT-A、TMT-B、SCWT完成时间短于脑机接口组, DST结果、SCWT正确数多于脑机接口组 ($P < 0.05$); 治疗后, 脑机接口组 α 波波幅高于治疗前, 联合组 α 波波幅高于治疗前, δ 、 θ 波波幅低于治疗前, 且联合组 α 波波幅高于脑机接口组, δ 、 θ 波波幅低于脑机接口组 ($P < 0.05$); 治疗后, 两组FMA-UE、ARAT评分分别高于同组治疗前, 且联合组高于脑机接口组 ($P < 0.05$)。两组治疗期间头痛、恶心呕吐、过敏、疲乏发生率比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。**结论** 经颅电刺激技术联合脑机接口技术可改善脑卒中患者的认知功能, 调节脑电波, 促进上肢功能的恢复。

【关键词】 卒中; 经颅电刺激技术; 脑机接口技术; 认知**【中图分类号】** R 743 **【文献标识码】** A **DOI:** 10.12114/j.issn.1008-5971.2024.00.005

Effects of Transcranial Electrical Stimulation Combined with Brain-Computer Interface Technology on Cognitive Function and Upper Limb Function in Patients with Stroke

YUAN Yanqiu, ZHANG Xiufang, CHEN Jie, ZHANG Li, ZHANG Ming

Rehabilitation Department, Xuzhou Rehabilitation Hospital Affiliated to Xuzhou Medical University, Xuzhou 221003, China

Corresponding author: ZHANG Ming, E-mail: zm1455@163.com

【Abstract】 **Objective** To investigate the effects of transcranial electrical stimulation combined with brain-computer interface technology on cognitive function and upper limb function in patients with stroke. **Methods** A total of 94 stroke patients admitted to Xuzhou Rehabilitation Hospital Affiliated to Xuzhou Medical University from November 2021 to May 2023 were selected as the research objects. The patients were divided into brain-computer interface group ($n=47$) and combined group ($n=47$) using random number table method. Brain-computer interface group was treated with brain-computer interface technology treatment, combined group was treated with transcranial electrical stimulation on the basis of the brain-computer interface group, all patients were treated continuously for 4 weeks. The cognitive function [Mini-Mental State Examination (MMSE) score, Montreal Cognitive Assessment (MoCA) score, Trail Making Test (TMT) execution time, Digit Span Test (DST) results, Stroop Color and Word Test (SCWT) execution time and accurate number], electroencephalographic indicators (α , β , δ , θ wave amplitude) and upper limb function [Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity (FMA-UE) and Action Research Arm Test (ARAT) scores] before and after treatment, and the incidence of adverse reactions were compared between the two groups. **Results** After treatment, the scores of MMSE and MoCA in the two groups were higher than those before treatment respectively, and those of combined group were higher than those of brain-computer interface group ($P < 0.05$). After treatment, the execution time of TMT-A, TMT-B, and SCWT in combined group was shorter than that before treatment, the DST results and correct number of SCWT in combined group were higher than those before treatment, the execution time of TMT-A, TMT-B, and SCWT of combined group was shorter than

that of brain-computer interface group, the DST results and correct number of SCWT of combined group were higher than those of brain-computer interface group ($P < 0.05$). After treatment, the α wave amplitude in brain-computer interface group was higher than that before treatment, the α wave amplitude in combined group was higher than that before treatment, the δ and θ wave amplitude in combined group was lower than that before treatment, the α wave amplitude of combined group was higher than that of brain-computer interface group, the δ and θ wave amplitude of combined group was lower than that of brain-computer interface group ($P < 0.05$). After treatment, the scores of FMA-UE and ARAT in the two groups were higher than those before treatment respectively, and those of combined group were higher than those of brain-computer interface group ($P < 0.05$). There was no statistically significant difference in the incidences of headache, nausea and vomiting, allergies, and fatigue between the two groups ($P > 0.05$). **Conclusion** Transcranial electrical stimulation combined with brain-computer interface technology can improve cognitive function in patients with stroke, regulate brain waves, and promote the recovery of upper limb function.

【Key words】 Stroke; Transcranial electrical stimulation; Brain-computer interface technology; Cognition

脑卒中患者神经元迅速死亡会影响大脑的部分功能区域, 导致突发性躯体功能障碍、认知功能损伤、语言障碍以及视觉问题等^[1-2]。其中, 认知障碍和肢体功能受限是最常见的后遗症, 其不仅会影响患者日常生活, 还会影响其工作和社交功能, 但传统的物理疗法和职业疗法对脑卒中患者的康复效果有限, 因而迫切需要探索新的高效康复技术^[3]。经颅电刺激技术是通过施加微弱电流来调节大脑皮质活动, 已被证明能够增强脑的可塑性, 从而有助于神经功能的恢复^[4-5]。脑机接口技术则是通过电极采集脑电信号, 并将其转化为可执行指令来控制外部设备或者进行反馈^[6]。上述两种技术的出现为脑卒中康复带来了新的可能, 但目前关于二者联合治疗脑卒中患者的临床效果研究尚不充足。本研究旨在探讨经颅电刺激技术联合脑机接口技术对脑卒中患者认知功能及上肢功能的影响, 以期为脑卒中患者的康复治疗提供更加科学、有效的方法。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取2021年11月—2023年5月徐州医科大学附属徐州康复医院收治的94例脑卒中患者为研究对象。纳入标准: (1) 符合《2016版中国脑血管病诊治指南与共识》^[7]中脑卒中的诊断标准; (2) 首次发病; (3) 年龄18~80岁; (4) 病程≤6个月; (5) 患者及家属对本研究知情并同意参加

本研究。排除标准: (1) 存在其他严重中枢神经系统疾病者; (2) 存在严重精神疾病或严重认知障碍者; (3) 存在严重心、肺、肝、肾等重要器官功能损伤者; (4) 脑部有其他结构性病变者; (5) 伴有可能影响认知功能和上肢功能的其他疾病者。采用随机数字表法将患者分为脑机接口组及联合组, 每组47例。两组年龄、性别、BMI、病程、脑卒中分型、吸烟史、饮酒史、脑卒中家族史、舒张压、收缩压、合并疾病及入院时实验室检查指标比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表1。本研究已通过徐州医科大学附属徐州康复医院医学伦理委员会审核通过 (编号: XK-LW-20200428-002)。

1.2 治疗方法

脑机接口组患者接受脑机接口技术治疗, 具体操作如下: 全面评估患者的健康状况、上肢障碍程度和康复目标, 选择杭州航奔生物科技有限责任公司生产的非侵入性脑电采集系统, 并使用16导脑电帽进行信号捕获。开始治疗时为患者提供一个安静的空间, 治疗师提前用0.9%氯化钠溶液浸泡脑电信号采集所需的棉托, 患者坐好后, 为其穿戴脑电帽, 并将棉托插入对应的导联孔中。然后, 为患者穿戴好外骨骼机械手, 戴好耳机。叮嘱患者根据语音提示闭眼放松30 s, 获得脑电信号基线数据作为康复评定以及训练难度的标准。患者根据显示屏画面及语音提示进行手部“抓乒乓球”“放乒

表1 两组一般资料比较

Table 1 Comparison of general information between the two groups

组别	例数	年龄	性别	BMI	病程	脑卒中分型 (出血性脑卒中/缺血性脑卒中)	吸烟史	饮酒史	脑卒中家族史	舒张压	收缩压
		($\bar{x} \pm s$, 岁)	(男/女)	($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	($\bar{x} \pm s$, d)	[n (%)]	[n (%)]	[n (%)]	($\bar{x} \pm s$, mmHg)	($\bar{x} \pm s$, mmHg)	
脑机接口组	47	68.3 ± 5.3	25/22	23.1 ± 0.4	25.3 ± 13.5	22/25	18 (38.3)	20 (42.6)	11 (23.4)	82 ± 5	132 ± 10
联合组	47	68.4 ± 5.3	26/21	23.0 ± 0.5	25.3 ± 12.5	20/27	16 (34.0)	17 (36.2)	13 (27.7)	84 ± 6	131 ± 10
$t(\chi^2)$ 值		0.018	0.043 ^a	0.515	0.007	0.172 ^a	0.184 ^a	0.401 ^a	0.224 ^a	1.842	0.522
P值		0.986	0.836	0.608	0.994	0.678	0.668	0.527	0.636	0.069	0.603
组别	合并疾病 [n (%)]						入院时实验室检查指标 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)				
	高血压	糖尿病	冠心病	高脂血症	心房颤动	COPD	空腹血糖	餐后2h血糖	HDL-C	LDL-C	
脑机接口组	32 (68.1)	15 (31.9)	10 (21.3)	22 (46.8)	6 (12.8)	4 (8.5)	6.2 ± 1.0	7.9 ± 1.6	1.51 ± 0.35	3.20 ± 0.60	
联合组	34 (72.3)	12 (25.5)	8 (17.0)	19 (40.4)	5 (10.6)	3 (6.4)	6.2 ± 1.0	7.9 ± 1.6	1.56 ± 0.39	3.18 ± 0.58	
$t(\chi^2)$ 值	0.203 ^a	0.468 ^a	0.275 ^a	0.389 ^a	0.103 ^a	0.154 ^a	0.188	0.062	0.654	0.164	
P值	0.652	0.494	0.600	0.533	0.748	0.694	0.851	0.951	0.515	0.870	

注: COPD=慢性阻塞性肺疾病; ^a表示 χ^2 值; 1 mmHg=0.133 kPa。

乓球”“端起杯子倒水”等运动想象任务,脑电信号则会通过信号转换器完成信号提取、特征转换,随后控制外骨骼机械手并帮助患者完成对应的抓握或张开动作;若患者注意力不集中,无法准确完成运动想象,则无法触发脑电信号转换器并完成外骨骼机械手的运动。患者的任务得分随之降低,反之,得分增加。治疗频率为20 min/次,5次/周,连续治疗4周。

联合组在脑机接口组的基础上接受经颅电刺激治疗,具体操作如下:患者取坐位,选择VC-8000C型经颅直流电刺激仪(南京沃高医疗科技有限公司生产)。电极经0.9%氯化钠溶液或导电凝胶浸湿后,将其置于目标区域(背侧前额叶皮质和两侧半球M1区),并使用头套固定以确保其在治疗过程中不移动。将参考电极置于中性位置,如对侧上臂。根据患者耐受度调整电流强度,一般为1.4~2.0 mA,持续时间约20 min,治疗频率及时间与脑机接口组相同。

1.3 观察指标

(1) 认知功能。治疗前后评估患者的认知功能。①简易精神状态检查量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)^[8]是一种广泛用于评估老年人和神经系统疾病患者认知功能的工具,其通过一系列简单的任务和问题来测试患者的定向、注意、记忆、计算、语言等能力,总分30分,得分越高表明患者的认知功能越好。②蒙特利尔认知评估量表(Montreal Cognitive Assessment, MoCA)^[9]是为了更细致地检测轻度认知障碍而设计的评估工具,其涵盖了视觉空间、命名、记忆、注意、语言、抽象思维、推延回忆和定向力等多个领域,总分30分,评分<26分表示可能存在轻度认知障碍。③连线测验(Trail Making Test, TMT)^[10]是一种评估个体注意力、处理速度和执行能力的工具,要求受试者按照特定的顺序连接数字和/或字母。完成时间越短表明受试者的注意力、处理速度和执行能力越好。TMT包括A、B两个子表,其中TMT-A主要测试视空间能力和书写速度,TMT-B主要测试处理速度和认知灵活性。④数字广度测验(Digit Span Test, DST)^[11]主要用于评估短时记忆力和注意力。受试者需要按照给定的顺序或逆序重复听到的数字。记忆的数字序列越长表明受试者的记忆力和注意力越好。⑤Stroop色词干扰测验(Stroop Color and Word Test, SCWT)^[12]是一种评估选择性注意力和抑制控制能力的工具。受试者需要快速且准确地识别字词的颜色,而忽视字词的语义含义。完成时间越短、正确数越多表明受试者的选择性注意力和抑制控制能力越好。(2) 脑电波指标。治疗前后检测患者脑电波指标,按照10-20国际系统的指南^[13]放置电极,记录 α 、 β 、 δ 、 θ 波波幅。(3) 上肢功能。治疗前后采用Fugl-Meyer运动功能评估量表上肢部分(Fugl-Meyer Assessment-Upper Extremity, FMA-UE)^[14]、上肢动作研究量表(Action Research Arm Test, ARAT)^[15]评估患者的上肢功能。①FMA-UE专门针对脑卒中患者上肢功能,包含33个项目,总分66分,评分越高表示上肢功能越好。②ARAT侧重评估上肢细微动作能力,共19个测试项目,包括4个基本动作:抓、握、捏以及粗大运动。每项为4级评分(0~3分),0分表示无法完成动作,

3分表示可正常完成动作。总分57分,评分越高代表患者的上肢协调能力和动作功能越好。(4) 不良反应。记录患者治疗期间不良反应发生情况,包括头痛、恶心呕吐、头晕、疲乏等。

1.4 统计学方法

采用SPSS 27.0统计学软件处理数据。符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,同组治疗前后比较采用配对 t 检验;计数资料以相对数表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher's确切概率法。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 认知功能

治疗前,两组MMSE、MoCA评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,两组MMSE、MoCA评分分别高于同组治疗前,且联合组高于脑机接口组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表2。

治疗前,两组TMT-A完成时间、TMT-B完成时间、DST结果、SCWT完成时间、SCWT正确数比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,联合组TMT-A、TMT-B、SCWT完成时间短于治疗前,DST结果、SCWT正确数多于治疗前,且联合组TMT-A、TMT-B、SCWT完成时间短于脑机接口组,DST结果、SCWT正确数多于脑机接口组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表3。

表2 两组治疗前后MMSE、MoCA评分比较($\bar{x} \pm s$,分)

Table 2 Comparison of scores of MMSE and MoCA between the two groups before and after treatment

组别	例数	MMSE评分		MoCA评分	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
脑机接口组	47	24.54 ± 1.25	25.67 ± 1.30 ^a	22.54 ± 1.34	23.39 ± 1.37 ^a
联合组	47	24.63 ± 1.33	28.45 ± 1.45 ^a	22.66 ± 1.30	26.73 ± 1.41 ^a
t 值		0.338	9.787	0.441	11.647
P 值		0.736	<0.001	0.661	<0.001

注:MMSE=简易精神状态检查量表,MoCA=蒙特利尔认知评估量表;^a表示与同组治疗前比较, $P < 0.05$ 。

2.2 脑电波指标

治疗前,两组 α 、 β 、 δ 、 θ 波波幅及治疗后两组 β 波波幅比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,脑机接口组 α 波波幅高于治疗前,联合组 α 波波幅高于治疗前, δ 、 θ 波波幅低于治疗前,且联合组 α 波波幅高于脑机接口组, δ 、 θ 波波幅低于脑机接口组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表4。

2.3 上肢功能

治疗前,两组FMA-UE、ARAT评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗后,两组FMA-UE、ARAT评分分别高于同组治疗前,且联合组高于脑机接口组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表5。

2.4 不良反应

两组治疗期间头痛、恶心呕吐、头晕、疲乏发生率比

表3 两组治疗前后TMT、DST、SCWT结果比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of results of TMT, DST and SCWT between the two groups before and after treatment

组别	例数	TMT-A完成时间 (s)		TMT-B完成时间 (s)		DST结果 (个)		SCWT完成时间 (s)		SCWT正确数 (个)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
脑机接口组	47	93.1 ± 5.1	91.8 ± 6.1	195.7 ± 9.1	193.4 ± 9.0	4.24 ± 0.77	4.55 ± 0.71	182.5 ± 16.2	182.1 ± 15.9	22.5 ± 2.8	22.5 ± 2.7
联合组	47	92.6 ± 5.2	86.4 ± 6.0 ^a	195.4 ± 9.1	187.5 ± 8.9 ^a	4.33 ± 0.85	4.92 ± 0.69 ^a	180.8 ± 16.2	175.3 ± 15.8 ^a	22.5 ± 2.9	24.5 ± 2.7 ^a
t值		0.515	4.353	0.133	3.171	0.359	2.562	0.515	2.073	0.068	3.477
P值		0.608	<0.001	0.894	0.002	0.721	0.012	0.608	0.041	0.946	0.001

注: TMT=连线测验, DST=数字广度测验, SCWT=Stroop色词干扰测验; ^a表示与同组治疗前比较, $P < 0.05$ 。

表4 两组治疗前后脑电波指标比较 ($\bar{x} \pm s, \mu V^2$)

Table 4 Comparison of electroencephalographic indicators between the two groups before and after treatment

组别	例数	α波波幅		β波波幅		δ波波幅		θ波波幅	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
脑机接口组	47	18.37 ± 5.85	23.47 ± 5.96 ^a	15.29 ± 4.53	15.37 ± 4.48	45.46 ± 12.43	45.34 ± 12.46	23.68 ± 7.09	22.62 ± 7.10
联合组	47	18.42 ± 5.93	35.61 ± 6.24 ^a	15.32 ± 4.56	15.61 ± 4.59	45.62 ± 12.47	39.71 ± 12.38 ^a	23.73 ± 7.12	18.84 ± 6.76 ^a
t值		0.041	9.645	0.032	0.257	0.062	2.197	0.034	2.643
P值		0.967	<0.001	0.975	0.798	0.951	0.030	0.973	0.010

注: ^a表示与同组治疗前比较, $P < 0.05$ 。

较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表6。

3 讨论

脑卒中是由脑部血流突然中断引起, 通常由脑动脉病变引发^[16]。大脑的认知机制依赖多区域的协同作用, 前额叶皮质主要功能是控制认知与制定决策, 扣带回皮质则在情绪加工及认知情绪调节中起核心作用, 同时顶叶皮质负责处理空间定位与工作记忆等复杂任务, 背侧前额叶皮质涉及高级认知功能, 如规划、问题解决及抑制干扰信息^[17]。这些区域与深部神经核团(杏仁核、海马体)形成复杂网络, 协调认知过程^[18]。相应脑区或神经通路损伤可能导致认知障碍, 进而影响记忆力、注意力等^[19]。大脑皮质中有对应上肢的感觉和运动功能的专一区域, 这些区域与前庭核、红核及基底核等深部结构相互影响, 尤其是中央前沟和中央后沟附近的皮质区域, 与上肢的精细动作密切相关。当这些区域或其相关神经通路受损时, 可能对肢体的运动功能产生严重影响^[20]。值得注意的是, 尽管神经元受损后功能丧失的主因是细胞的不可逆性坏死, 但大脑仍然拥有一定的神经可塑性^[21]。因此, 脑卒中后早期诊断和及时的康复治疗至关重要。

经颅电刺激技术是一种先进的神经调控技术, 其工作原理是通过调整神经元的膜电位优化受损大脑区域的神经可塑性^[22-23]。脑机接口技术可为受损的神经通路提供“旁路”, 允许患者直接使用脑信号来控制外部设备^[24]。本研究探索了经颅电刺激技术联合脑机接口技术对脑卒中患者认知功能及上肢功能的影响, 结果显示, 与脑机接口组相比, 联合组患者MMSE、MoCA评分明显升高, 这种差异可能源于两种技术的协同作用: 脑机接口技术可捕捉大脑信号, 经颅电刺激技术可调节大脑皮质兴奋性, 加强神经网络的连接, 进而增进大脑与外部设备的交互效率, 从而提高认知功能。宋梦涵等^[25]研究显示, 经颅直流电刺激可提高脑卒中患者MMSE、MoCA评分, 改善其日常生活活动能力。同时, 本研究结果

表5 两组治疗前后上肢功能比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

Table 5 Comparison of upper limb function between the two groups before and after treatment

组别	例数	FMA-UE评分		ARAT评分	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
脑机接口组	47	22.29 ± 3.84	25.51 ± 3.87 ^a	9.68 ± 5.21	12.62 ± 5.28 ^a
联合组	47	21.98 ± 3.79	28.64 ± 4.12 ^a	9.72 ± 5.24	16.69 ± 6.06 ^a
t值		0.394	3.796	0.037	3.472
P值		0.695	<0.01	0.971	<0.01

注: FMA-UE=Fugl-Meyer运动功能评估量表上肢部分, ARAT=上肢动作研究量表; ^a表示与同组治疗前比较, $P < 0.05$ 。

表6 两组不良反应发生率比较 [n (%)]

Table 6 Comparison of adverse reaction incidence between the two groups

组别	例数	头痛	恶心呕吐	头晕	疲乏
脑机接口组	47	3 (6.4)	2 (4.3)	1 (2.1)	2 (4.3)
联合组	47	1 (2.1)	1 (2.1)	0	3 (6.4)
χ^2 值		0.261	0	—	0
P值		0.609	1.000	1.000	1.000

注: —为采用Fisher's确切概率法。

显示, 治疗后, 联合组TMT-A、TMT-B、SCWT完成时间短于脑机接口组, DST结果、SCWT正确数多于脑机接口组。经颅电刺激技术可增强神经元兴奋性和突触可塑性, 从而促进神经网络重塑; 脑机接口技术可通过实时反馈训练优化大脑对认知任务的响应能力。经颅电刺激技术联合脑机接口技术可多维度激活和强化大脑的认知处理能力, 加强大脑区域间的信息传递效率和神经网络间的协调性, 从而改善患者认知功能。

脑电图中的α波通常与放松和意识的清晰状态相关, 而δ波和θ波更多地与深度放松和初级睡眠有关。本研究结

果显示,治疗后,联合组 α 波波幅升高,而 δ 、 θ 波波幅下降,表明大脑进入积极的神经重塑阶段。杜宇鹏等^[26]研究表明,高强度经颅直流电刺激下 α 波波幅明显升高,这可提高脑梗死患者大脑兴奋性,并改善其吞咽功能。本研究结果还显示,治疗后,联合组FMA-UE、ARAT评分高于脑机接口组,分析原因:脑机接口技术通过实时反馈和上肢运动的模拟训练,帮助患者重新建立与上肢运动相关的神经路径。与此同时,经颅电刺激技术能够刺激特定的大脑区域的运动皮质,促进与上肢运动控制相关的神经网络的活化,从而增强患者上肢运动功能的恢复。联合应用的协同效应促进了受损运动功能的恢复,也增强了大脑在处理运动相关信息时的效率和精准度。GONG等^[27]研究表明,小脑经颅电刺激技术可促进脑卒中患者上肢运动功能恢复。此外,本研究结果还显示,经颅电刺激技术治疗脑卒中时联合脑机接口技术并未增加患者的不良反应。

4 结论

综上所述,经颅电刺激技术联合脑机接口技术可改善脑卒中患者的认知功能,调节脑电波和促进上肢功能的恢复。然而,本研究局限于小样本和短期治疗,未能全面评估长期效果与潜在不良反应。因此,未来研究需扩大样本量,延长观察时间,并深入探索上述两种技术的治疗机制,以提高结论的普适性和准确性。

作者贡献:袁艳秋、张明进行文章的构思与设计,研究的实施与可行性分析,统计学处理;袁艳秋、张秀芳、陈杰、张莉进行资料收集;袁艳秋、陈杰、张莉进行资料整理;袁艳秋进行论文撰写及修订;张明负责文章的质量控制及审校,对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] KAUR M, SHARMA S. Molecular mechanisms of cognitive impairment associated with stroke [J]. *Metab Brain Dis*, 2022, 37 (2): 279-287. DOI: 10.1007/s11011-022-00901-0.
- [2] TSUBOI H, TAKAHASHI K, SUGANO N, et al. Effect of early mobilization in patients with stroke and severe disturbance of consciousness: retrospective study [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2022, 31 (10): 106698. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2022.106698.
- [3] TOBA M N, ZAVAGLIA M, MALHERBE C, et al. Game theoretical mapping of white matter contributions to visuospatial attention in stroke patients with hemineglect [J]. *Hum Brain Mapp*, 2020, 41 (11): 2926-2950. DOI: 10.1002/hbm.24987.
- [4] 中国经颅直流电刺激脑卒中康复临床应用专家共识组. 经颅直流电刺激技术应用于脑卒中患者康复治疗的专家共识 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43 (4): 289-294. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.04.001.
- [5] 丁彬鸿, 冒文静, 吴素青, 等. 功能性电刺激联合Bobath疗法对脑卒中偏瘫患者的影响研究 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2022, 30 (6): 105-109. DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.151.
- [6] SUN X W, LI M Y, LI Q, et al. Poststroke cognitive impairment research progress on application of brain-computer interface [J]. *Biomed Res Int*, 2022, 2022: 9935192. DOI: 10.1155/2022/9935192.
- [7] 中华医学会神经病学分会. 2016版中国脑血管病诊治指南与共识 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 106-107.
- [8] 周小炫. 中文版简易智能精神状态检查量表在脑卒中患者中的信效度初步研究 [D]. 福州: 福建中医药大学, 2015.
- [9] 张立秀, 刘雪琴. 蒙特利尔认知评估量表中文版的信效度研究 [J]. *护理研究*, 2007, 21 (31): 2906-2907. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6493.2007.31.044.
- [10] JIANG H Y, LI H H, WANG Z, et al. Effect of early cognitive training combined with aerobic exercise on quality of life and cognitive function recovery of patients with poststroke cognitive impairment [J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 9891192. DOI: 10.1155/2022/9891192.
- [11] 张翔, 张一, 谢凡, 等. 增强现实镜像疗法对脑卒中患者注意力的效果 [J]. *中国康复理论与实践*, 2023, 29 (6): 720-724. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2023.06.014.
- [12] 张君芳, 姜帅, 赵晓玲, 等. Stroop色词测验在早期识别卒中后认知障碍中的作用研究 [J]. *中国全科医学*, 2021, 24 (15): 1896-1902. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2021.00.446.
- [13] JASPER H. The ten-twenty electrode system of the international federation [J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1958, 10: 367-380.
- [14] HERNÁNDEZ E D, GALEANO C P, BARBOSA N E, et al. Intra- and inter-rater reliability of Fugl-Meyer Assessment of Upper Extremity in stroke [J]. *J Rehabil Med*, 2019, 51 (9): 652-659. DOI: 10.2340/16501977-2590.
- [15] AMANO S, UMEJI A, UCHITA A, et al. Clinimetric properties of the action research arm test for the assessment of arm activity in hemiparetic patients after stroke [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2020, 27 (2): 127-136. DOI: 10.1080/10749357.2019.1667656.
- [16] 王红彦, 李军文, 胡才玉, 等. 中国脑卒中患者发生卒中后疲劳危险因素的Meta分析 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2023, 31 (6): 32-37, 53. DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2023.00.129.
- [17] SNYDER A C, YU B M, SMITH M A. A stable population code for attention in prefrontal cortex leads a dynamic attention code in visual cortex [J]. *J Neurosci*, 2021, 41 (44): 9163-9176. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0608-21.2021.
- [18] SONG J. Amygdala activity and amygdala-hippocampus connectivity: metabolic diseases, dementia, and neuropsychiatric issues [J]. *Biomedicine Pharmacother*, 2023, 162: 114647. DOI: 10.1016/j.biopha.2023.114647.
- [19] 廖健颖, 朱蔚文, 李又福, 等. 皮质下缺血性脑血管病患者不同脑区脑白质病变与血管性认知功能损伤的相关性研究 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2020, 28 (11): 48-53. DOI: 10.3969/j.issn.1008-5971.2020.11.009.
- [20] KOLBAŞI E N, HUSEYINSINOĞLU B E, BAYRAKTAROĞLU Z. Effect of upper limb focal muscle vibration on cortical activity: a systematic review with a focus on primary motor cortex [J]. *Eur J Neurosci*, 2022, 56 (3): 4141-4153. DOI: 10.1111/ejn.15731.

- [4] 宏达.大成推拿术 [M].北京:中国中医药出版社,1998:434.
- [5] 张军,刘泽键,王新月,等.贺氏火针治疗中风软瘫期手功能障碍的临床研究 [J].中国老年保健医学,2023,21(2):13-16.
- [6] 卢荣,杜小正,袁薇.头针结合热敏灸辅助治疗急性脑梗死后手软瘫33例临床观察 [J].甘肃中医药大学学报,2020,37(3):73-77.DOI:10.16841/j.issn1003-8450.2020.03.18.
- [7] 曹礼忠,刘悦,黄凡,等.分期针刺法治疗脑卒中后软瘫期肢体功能障碍临床研究 [J].安徽中医药大学学报,2017,36(2):34-37.DOI:10.3969/j.issn.2095-7246.2017.02.011.
- [8] 胡鹏,杨学军.头针联合任务导向型训练对软瘫期卒中患者体感诱发电位及功能恢复的影响 [J].上海针灸杂志,2019,38(5):482-486.DOI:10.13460/j.issn.1005-0957.2019.05.0482.
- [9] 王颖,和瑞欣,潘冉.肌张力分期针刺法治疗中风后偏瘫临床观察 [J].光明中医,2020,35(2):234-235.DOI:10.3969/j.issn.1003-8914.2020.02.034.
- [10] 徐雪迪,徐雪梅,陈和木,等.神经肌肉电刺激联合Rood技术对脑卒中软瘫期患者上肢功能的影响 [J].安徽医学,2022,43(9):995-998.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2022.09.001.
- [11] 张通,赵军,白玉龙,等.中国脑血管病临床管理指南(节选版):卒中康复管理 [J].中国卒中杂志,2019,14(8):823-831.DOI:10.3969/j.issn.1673-5765.2019.08.017.
- [12] 严金林.推拿临床指南 [M].北京:中医古籍出版社,2003:376.
- [13] 邵水金.人体解剖学 [M].4版.北京:中国中医药出版社,2016:371.
- [14] 王娟,王燕,邱萍,等.子午流注三阳灸对脑卒中软瘫期上肢肌张力及运动功能恢复的影响 [J].中医药学报,2020,48(3):46-50.DOI:10.19664/j.cnki.1002-2392.200049.
- [15] 张欣,刘明军,尚坤,等.基于“皮部”理论推拿疗法对家兔免疫功能调节作用研究 [J].中华中医药杂志,2014,29(5):1421-1423.
- [16] 张程,黄伟,白晓红.基于经筋皮部理论探析小儿脑性瘫痪循经推拿疗法的作用机理 [J].中华中医药学刊,2016,34(7):1627-1630.DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2016.07.025.
- [17] 孙德仁,陈博睿.皮部理论在少儿推拿的应用 [J].中华中医药杂志,2020,35(3):1531-1533.
- [18] 董桦,王金贵.津沽小儿推拿中皮部推按及其理论探析 [J].长春中医药大学学报,2023,39(6):598-601.DOI:10.13463/j.cnki.cczyy.2023.06.003.
- [19] 龚俊辉.常规西医治疗联合银杏叶制剂对缺血性脑卒中认知功能障碍患者精神状态、生活能力改善效果观察 [J].北方药学,2020,17(8):30-31.DOI:10.3969/j.issn.1672-8351.2020.08.010.
- [20] CHEN X W, LIU F Q, YAN Z H, et al. Therapeutic effects of sensory input training on motor function rehabilitation after stroke [J]. Medicine, 2018, 97(48): e13387. DOI: 10.1097/MD.00000000000013387.
- [21] 姚舜,郝玉鹏,康洪,等.针刺配合康复训练对脑卒中软瘫期上肢肌张力及运动功能恢复的影响 [J].黑龙江医学,2013,37(7):596-598.DOI:10.3969/j.issn.1004-5775.2013.07.036.
- [22] 俞沙.感觉刺激对脑卒中软瘫期上肢运动功能恢复的影响 [J].新疆中医药,2017,35(1):1-3.
- [23] 范汉程,杨丽英.重复经颅磁刺激治疗脑卒中后软瘫期运动障碍的临床观察 [J].新余学院学报,2018,23(5):153-156. DOI:10.3969/j.issn.2095-3054.2018.05.037.
- [24] 屠长兰.推拿按摩结合现代神经运动发育疗法治疗肌张力低下型脑瘫的临床效果 [J].中国医学工程,2016,24(1):91-93. DOI:10.19338/j.issn.1672-2019.2016.01.048.
- (收稿日期:2023-11-29;修回日期:2024-03-13)
(本文编辑:谢武英)

(上接第75页)

- [21] 付雪琴,兰瑞,邹旭欢,等.脑缺血后突触可塑性与神经胶质细胞相互调控在神经修复中的作用 [J].临床神经外科杂志,2023,20(2):234-236,240. DOI:10.3969/j.issn.1672-7770.2023.02.023.
- [22] HOWELL B, MCINTYRE C C. Feasibility of interferential and pulsed transcranial electrical stimulation for neuromodulation at the human scale [J]. Neuromodulation, 2021, 24(5):843-853. DOI:10.1111/ner.13137.
- [23] 易琼,孙文琳,祁玉军.经颅直流电刺激联合高压氧疗治疗脑卒中后单侧空间忽略患者的临床效果研究 [J].实用心脑血管病杂志,2022,30(2):24-28. DOI:10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.043.
- [24] RASHID M, BARI B S, SULAIMAN N, et al. A hybrid environment control system combining EMG and SSVEP signal based on brain-computer interface technology [J]. SN Appl Sci, 2021, 3(9):1-14. DOI:10.1007/s42452-021-04762-7.
- [25] 宋梦涵,高呈飞,周锐志,等.经颅直流电刺激对脑卒中患者认知功能及其脑白质纤维完整性的影响 [J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(5):391-396. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.05.002.
- [26] 杜宇鹏,李晓东,刘文兵,等.不同强度的经颅直流电刺激对脑梗死后吞咽障碍患者的疗效比较 [J].中国康复理论与实践,2020,26(5):583-587. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2020.05.018.
- [27] GONG Q W, YAN R B, CHEN H, et al. Effects of cerebellar transcranial direct current stimulation on rehabilitation of upper limb motor function after stroke [J]. Front Neurol, 2023, 14:1044333. DOI:10.3389/fneur.2023.1044333.
- (收稿日期:2023-09-28;修回日期:2023-12-06)
(本文编辑:陈素芳)