

· 临床研究 ·

重复经颅磁刺激对脑卒中后上肢运动功能影响的功能性近红外光谱研究

李响 张洪蕊 曹海杰 宋慧杰 袁冉冉 孙亚鲁

济宁医学院附属医院康复医学科, 济宁 272000

通信作者: 孙亚鲁, Email: 18487344536@163.com

【摘要】 目的 近红外脑功能成像(fNIRS)技术的检测下,观察重复经颅磁刺激(rTMS)对脑卒中患者上肢运动功能和大脑皮质激活的影响。**方法** 将符合纳入标准的 60 例脑卒中患者随机分为干预组和对照组,每组 30 例。所有患者均给予常规的康复训练(包括药物治疗、偏瘫肢体综合训练、物理因子疗法等),每日治疗 60 min,6 d/周,持续 4 周。对照组在常规康复训练的基础上给予假 rTMS 刺激,干预组在此基础上给予 rTMS 刺激,每日 1 次,每次 15 min,6 d/周,持续 4 周。分别于治疗前和治疗 4 周后(治疗后),采用 Fugl-Meyer 上肢运动功能评分量表(FMA-UE)对 2 组患者的上肢运动功能进行评估,采用 fNIRS 技术检测并比较治疗前后 2 组患者的前额叶皮质(PFC)、运动皮质(MC)和初级躯体感觉皮质(PSC)的激活程度(β 值),并进一步分析和比较不同病变脑区的 β 值。采用 Pearson 相关性分析法进行 FMA-UE 评分变量与 β 值变量的相关性分析。**结果** ①治疗前,干预组和对照组患者的 FMA-UE 评分[(32.96 $\pm$ 3.24)和(32.03 $\pm$ 4.11)分]组间差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后,2 组患者的 FMA-UE 评分[(42.33 $\pm$ 3.80)和(39.23 $\pm$ 4.77)分]均较组内治疗前明显增加($P<0.01$),且干预组明显高于对照组($P<0.01$)。②治疗前,2 组患者 PFC、MC 和 PSC 皮质的 β 值组间差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,干预组 CH27 和 CH13 的 β 值较对照组明显提高($P<0.05$);在左侧病变脑区患者中,干预组治疗后的 CH27 和 CH13 的 β 值较对照组明显提高($P<0.05$),且左侧干预组 CH13 的 β 值与组内治疗前比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。③Pearson 相关性分析结果显示,干预组患者的 FMA-UE 评分变量与 CH27 及 CH13 的 β 值变量呈中度相关($P<0.05$),对照组的 FMA-UE 评分变量与 CH27 的 β 值变量呈低度相关($P<0.05$)。**结论** rTMS 有利于激活左侧病变脑区的兴奋性,提高患者的上肢运动功能,且上肢运动功能的改善与左前额叶皮质(LPFC)、左初级躯体感觉皮质(LPSC)的激活具有相关性。

【关键词】 重复经颅磁刺激; 近红外脑功能成像技术; 脑卒中**基金项目:** 济宁市重点研发计划项目(2021YXNS110),山东省医药卫生科技项目(202316010454)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.02.005

The effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on the upper limb motor function of stroke survivors as measured by functional near infrared spectroscopy

Li Xiang, Zhang Hongrui, Cao Haijie, Song Huijie, Yuan Ranran, Sun Yalu

Department of Rehabilitation Medicine, Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining 272000, China

Corresponding author: Sun Yalu, Email: 18487344536@163.com

【Abstract】 Objective To explore any effect of repeated transcranial magnetic stimulation (rTMS) on the upper limb motor function and cerebral cortex activation of stroke survivors. **Methods** Sixty stroke survivors were randomly divided into an intervention group and a control group, each of 30. In addition to routine rehabilitation training (including drug therapy, comprehensive hemiplegic limb training and physical factor therapy), the intervention group received 15 minutes of rTMS daily, five days a week for 4 weeks while the control group was given false rTMS. Upper limb motor function was evaluated before and after the treatment using the Fugl Meyer upper limb motor function rating scale (FMA-UE). Functional near-infrared spectroscopy was used to detect and compare the activation (β values) of the prefrontal cortex, the motor cortex and the primary somatosensory cortex in the 2 groups. The correlation between the FMA-UE scores and the β values was quantified. **Results** ①There was no significant difference in the average FMA-UE scores between the two groups before the treatment. Afterward, though both groups' average scores had increased significantly, there was significantly greater improvement in the treatment group. ②There was also no significant difference in average β value between the two groups before the experiment, but afterward the average β s of channels 27 and 13 in the intervention group were significantly higher than in the

control group. Moreover, in patients with lesion in the left brain, the β -values of CH27 and CH13 were also significantly higher than the control group ($P<0.05$). ③The FMA-UE scores of the intervention group were moderately correlated with the CH27 and CH13 β values, but those of the control group were only weakly correlated with the β values of CH27. **Conclusion** Transcranial magnetic stimulation activates a lesioned left brain region, improving upper limb motor function. The improvement is correlated with the activation of the left prefrontal cortex and the left primary somatosensory cortex.

【Key words】 Transcranial magnetic stimulation; Functional near-infrared spectroscopy; Stroke
Funding: A Jining Key Research and Development Plan project (2021YXNS110), a Shandong Province Medicine and Health Science and Technology project (202316010454)
DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.02.005

脑卒中是全球死亡和残疾的首要原因,2016 年全球疾病负担 (GBD) 研究报道,我国脑卒中患者遗留功能障碍的风险高达 39.3%^[1],而上肢持续运动功能障碍是脑卒中患者最常见的残疾之一^[2]。目前已有多种康复技术用于脑卒中后上肢功能障碍的康复,包括神经肌肉电刺激、强制性使用运动疗法、物理因子疗法和任务导向训练等,大多数康复策略主要侧重于行为训练,且对脑卒中后遗症如运动功能减退、协调性差等效果往往不尽如人意。

重复经颅磁刺激 (repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS) 作为近年来逐渐兴起的非侵入性脑刺激技术,可通过脉冲磁场作用于中枢神经系统,从而促进脑卒中患者肢体功能的恢复。近红外脑功能成像 (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) 技术是一种神经影像技术,是以一种相对无创、便携、安全和低成本的方式间接和直接监测大脑活动。本研究在常规康复的基础上辅以 rTMS 治疗脑卒中后上肢运动功能障碍患者,并用 fNIRS 来检测治疗前后大脑皮质的激活情况,从脑功能成像的角度探讨 rTMS 治疗脑卒中后上肢运动功能障碍的影响,以期为 rTMS 的临床应用提供直接证据。

资料与方法

一、研究对象及分组
入选标准:①符合中国各类主要脑血管病诊断要点 (2019) 的脑卒中诊断标准^[3],并经头颅 CT 或 MRI

检查证实;②初次且单侧发病,病程 ≤ 3 个月;③年龄 18~69 岁,右利手;④患侧上肢 Brunnstrom 分期 $\geq$ Ⅲ期;⑤血压控制良好,生命体征稳定;⑥患者或家属签署知情同意书。
排除标准:①进展性脑卒中;②既往有癫痫发病史或正服用抗癫痫药物;③体内安装心脏起搏器或其它金属异物;④严重认知障碍,不能配合评估及治疗;⑤合并严重心、肺、肝、肾功能障碍。

选取 2022 年 2 月至 2023 年 2 月济宁医学院附属医院康复医学科收治且符合上述标准的脑卒中患者 60 例,按随机数字表法分为干预组和对照组,每组 30 例。2 组患者的性别、平均年龄、平均病程、卒中类型、偏瘫部位及简易智能精神状态检查量表 (mini-mental state examination, MMSE) 以及 2 组患者左侧大脑病变和右侧大脑病变的基本情况等一般临床资料经统计学分析比较,组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$),具体数据详见表 1。本研究获济宁医学院附属医院伦理委员会审核批准 (批文号 2022-11-C023)。

二、治疗方法
2 组患者均给予常规药物及康复训练,主要康复训练内容包括运动疗法、物理因子疗法和作业疗法 (强制性使用运动疗法、日常生活活动能力训练、目标导向训练) 等,具体治疗方案由负责的治疗师为每个患者进行优化,治疗时间为每日 60 min,6 d/周,持续 4 周。在此基础上,干预组给予 rTMS 治疗,对照组采用与干预组相同的部位和参数,给予假刺激治疗。

表 1 2 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别 (例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$)	卒中类型 (例)		偏瘫部位 (例)		MMSE (分, $\bar{x}\pm s$)
		男	女			缺血性	出血性	左侧	右侧	
干预组	30	22	8	54.53 $\pm$ 9.28	18.33 $\pm$ 5.09	13	17	15	15	24.77 $\pm$ 2.45
对照组	30	20	10	56.27 $\pm$ 7.87	19.50 $\pm$ 5.19	15	15	14	16	25.23 $\pm$ 2.32

组别	病变脑区	例数	性别 (例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$)	卒中类型 (例)		MMSE (分, $\bar{x}\pm s$)
			男	女			缺血性	出血性	
干预组	左侧大脑病变	15	10	5	55.60 $\pm$ 9.24	18.53 $\pm$ 5.53	7	8	24.20 $\pm$ 2.51
干预组	右侧大脑病变	15	12	3	53.46 $\pm$ 9.51	18.13 $\pm$ 4.79	6	9	25.33 $\pm$ 2.32
对照组	左侧大脑病变	16	10	6	55.75 $\pm$ 7.93	20.18 $\pm$ 4.73	8	8	25.12 $\pm$ 2.30
对照组	右侧大脑病变	14	10	4	56.85 $\pm$ 8.05	18.71 $\pm$ 5.74	7	7	25.35 $\pm$ 2.43

1.rTMS 治疗:使用英国 Magstim 公司产 Rapid 2 型经颅磁刺激仪进行 rTMS 治疗。首先根据脑电 10-20 定位系统确定 Cz 的位置,即两耳尖连线的中点。将线圈中点放置 Cz 点向两边外侧约 5 cm 处,以此处为中心,寻找可引发对侧拇短展肌最大运动诱发电位(motor evoked potential,MEP)的位置即为初级运动皮质(primary motor cortex,M1)区。将健侧大脑皮质 M1 区作为刺激靶点,单脉冲刺激 10 次,其中至少有 5 次诱发电位达 50 μ V 以上,此时最小的刺激强度即为患者的运动阈值(motor threshold,MT)。治疗时,嘱患者取舒适坐位,将 8 字线圈与颅骨相切,线圈的中心置于非受累侧半球 M1 区,刺激频率为 1.0 Hz,刺激强度为 90% MT,每个序列脉冲 8 个,刺激持续时间 8 s,间歇时间 3 s,重复 82 个序列,脉冲总数 656 个。每日 1 次,每次 15 min,每周 6 d,持续 4 周。

2.假刺激治疗:采用与干预组相同的部位和参数,只是将线圈的角度调整为垂直于颅骨,而不是与颅骨相切。每日 1 次,每次 15 min,每周 6 d,持续 4 周。

三、fNIRS 测试方法

1.fNIRS 任务态信号采集:使用多通道的 fNIRS 仪器设备 NirScan(丹阳慧创,中国)记录大脑皮质氧合血红蛋白(oxyhemoglobin,HbO₂)的变化,波长设置为 730 和 850 nm,数据采样频率为 11 Hz,由 14 个光源探头和 14 个探测探头组成的 35 个通道(channel,CH),这些通道对称分布在受试者的左右大脑半球(图 1)。

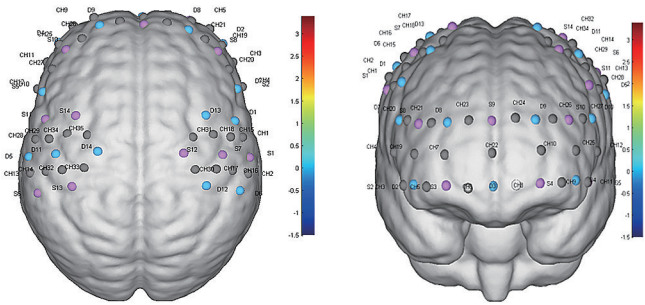


图 1 fNIRS 头帽采集通道分布

根据脑电 10-20 国际系统,中间探头的中心位置(D3)被放置在大约 FPz(额极中线)处。为了获取高精度的数据,检测器和光源采用柔性头戴固定,平均距离设置为 30 mm,并且使接收器和信号发射器尽量与皮肤直接接触,观察在任务期间各通道收集的大脑皮质的 HbO₂ 和脱氧血红蛋白浓度。本研究按兴趣区进行划分,由于通道 22(CH22)位于前额叶正中,不符合分区要求,将其它 34 个通道划分为前额叶皮质(pre-frontal cortex,PFC)、运动皮质(motor cortex,MC)、初级躯体感觉皮质(primary somatosensory cortex,PSC),其

中左前额叶皮质(left prefrontal cortex,LPFC)对应通道 9 个,右前额叶皮质(right prefrontal cortex,RPFC)对应通道 9 个,左运动皮质(left motor cortex,LMC)对应通道 5 个,右运动皮质(right motor cortex,RMC)对应通道 6 个,左初级躯体感觉皮质(left primary somatosensory cortex,LPSC)对应通道 3 个,右初级躯体感觉皮质(right primary somatosensory cortex,RPSC)对应通道 2 个,详见表 2。

表 2 脑区对应通道情况

脑区	通道数量	对应通道
LPFC	9	CH25/26/11/12/27/9/10/24/8
RPFC	9	CH3/19/21/5/4/20/7/23/6
LMC	5	CH33/28/29/34/35
RMC	6	CH1/17/30/15/18/31
LPSC	3	CH13/14/32
RPSC	2	CH2/16

2.fNIRS 任务测试:患者处于安静的环境下,取放松坐位,下肢和头部尽量保持不动,禁止患者转头或说话。测试开始之前,每个受测者都被要求在开始数据记录之前熟悉任务。

具体任务:实验开始前和结束后的休息时间为 30 s,嘱患者将患侧上肢上举超过鼻尖,重复 60 s,休息 60 s,共 2 次。

四、评定指标及其数据分析

1.上肢运动功能评定:采用 Fugl-Meyer 上肢功能评定量表(Fugl-Meyer assessment-upper extremity,FMA-UE)对 2 组患者的上肢运动功能进行评估,主要针对反射、肩、肘、腕与手指运动等 33 个项目,每项 0~2 分,总分 66 分,得分越高说明上肢运动功能越好^[4]。

2.fNIRS 数据分析:采用 NirSpark 工具包软件对 fNIRS 任务态数据进行处理,首先将光强转换为光密度。然后,用运动标准差和样条插值法去除运动伪迹。使用 0.01~0.1 Hz 的带通滤波过滤一般噪声(包括心跳、呼吸、梅尔波等)。将差分路径长度系数设定为 6,根据修正的 Beer-Lamber 定律将滤波后的光密度信号转换为 HbO₂ 的相对浓度,并使用广义线性模型拟合和血液动力学反应函数,得到代表皮质通道激活水平的 β 值。采用 fNIRS 技术检测并比较治疗前及治疗后 2 组患者的 PFC、MC 和 PSC 的激活程度(β 值),并进一步分析和比较不同病变脑区的 β 值。

五、统计学方法

使用 SPSS 23.0 版统计软件对所得数据进行统计学分析处理。使用 Shapiro-Wilk 验证数据分布的

正态性和数据的同方差性 (Levene 检验),符合正态分布且方差齐性的计量资料用($\bar{x}\pm s$)表示,采用 t 检验;非正态分布计量资料用中位数 (M) 与四分位间距 (P_{25}, P_{75}) 表示,采用非参数检验;采用 Pearson 相关性分析法对患者 FMA-UE 评分的变量与 β 值变量进行相关性分析,相关程度的标准如下: $0<|r|<0.3$ 微弱相关, $0.3\leq|r|<0.5$ 低度相关, $0.5\leq|r|<0.8$ 中度相关, $0.8\leq|r|<1$ 高度相关。 $P<0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

一、2 组患者 FMA-UE 评分比较

治疗前,干预组患者的 FMA-UE 评分与对照组比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。2 组患者治疗后的 FMA-UE 评分均较组内治疗前明显增加 ($P<0.01$),且治疗后干预组的 FMA-UE 评分较对照组增加更明显,组间差异有统计学意义 ($P<0.01$)。详见表 3。

表 3 2 组患者 FMA-UE 评分的比较 (分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	治疗前	治疗后
干预组	30	32.96 $\pm$ 3.24	42.33 $\pm$ 3.80 ^{ab}
对照组	30	32.03 $\pm$ 4.11	39.23 $\pm$ 4.77 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.01$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.01$

二、各组患者任务期间 β 值的比较

治疗前,干预组的 PFC、MC 和 PSC 皮质的 β 值与对照组比较,组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。治疗后,2 组患者 CH13 和 CH27 的 β 值均较组内治疗前明显升高 ($P<0.05$),且干预组明显高于对照组,组间差异亦有统计学意义 ($P<0.05$)。具体数据详见表 4。

表 4 2 组患者治疗前后的 β 值比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	治疗前		治疗后	
		CH13	CH27	CH13	CH27
干预组	30	0.02 $\pm$ 0.18	0.03 $\pm$ 0.18	0.42 $\pm$ 0.56 ^{ab}	0.37 $\pm$ 0.55 ^{ab}
对照组	30	0.03 $\pm$ 0.07	0.01 $\pm$ 0.08	0.12 $\pm$ 0.19 ^a	0.11 $\pm$ 0.20 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$

分析左侧和右侧病变脑区的 fNIRS 结果发现,两侧病变脑区的干预组和对照组治疗前的 β 值组间比

较,差异均无统计学意义 ($P>0.05$);右侧病变脑区的干预组和对照组治疗后的 β 值组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$),但在左侧病变脑区患者中,干预组治疗后 CH13 和 CH27 的 β 值与对照组对比,组间差异均有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗后,右侧干预组各脑区的 β 值与治疗前比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$),左侧干预组 CH13 的 β 值与治疗前比较,差异有统计学意义 ($P<0.05$)。具体数据详见表 5。

三、相关性分析

Pearson 相关性分析结果显示,干预组患者的 FMA-UE 评分的变量与 CH27 及 CH13 的 β 值变量呈中度相关 ($0.5\leq r<0.8, P<0.05$),而对照组 FMA-UE 评分的变量与 CH27 的 β 值变量呈低度相关 ($0.3\leq r<0.5, P<0.05$),详见表 6。

讨 论

根据其对皮质兴奋性的不同,rTMS 调节作用可分为兴奋性经颅磁刺激和抑制性经颅磁刺激。兴奋性 rTMS 包括高频 rTMS 或间歇性 θ 节律刺激,可增加皮质兴奋性;抑制性 rTMS 包括低频 rTMS 或连续性 θ 节律刺激,可以抑制皮质兴奋性^[5]。大脑半球间抑制模型是一种常用于指导脑卒中后运动康复的理论模型,其认为脑卒中后从健侧到患侧半球的经胼胝体抑制异常增加,导致患侧皮质的兴奋性降低和健侧半球皮质的兴奋性增加^[6-8]。因此,兴奋性 rTMS 通常应用于患侧大脑半球,而抑制性 rTMS 应用于健侧大脑半球^[9-10]。有研究^[11-13]报道了低频 rTMS 在脑卒中后上肢运动功能障碍患者中的应用,其促进了大脑半球的功能重组。因此,本研究采用 1.0 Hz 的 rTMS 刺激健侧大脑半球的 M1 区,观察其对脑卒中后上肢运动功能的影响,并通过 fNIRS 技术检测大脑皮质的激活情况。

多种神经成像技术[包括正电子发射断层扫描 (positron emission tomography, PET)、功能性磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 等]显示,单侧损伤后的运动功能恢复与脑卒中早期对侧半球同源区域的募集有关;但大多数人类的行为是动态的过程,这些行为可能无法通过高度控制、简化的研究

表 5 各组患者治疗前后的 β 值比较 ($\bar{x}\pm s$)

组别	病变脑区	例数	治疗前		治疗后	
			CH13	CH27	CH13	CH27
干预组	左侧大脑病变	15	-0.01 $\pm$ 0.14	0.12 $\pm$ 0.59	0.11 $\pm$ 0.22 ^{ab}	0.24 $\pm$ 0.46 ^b
对照组	左侧大脑病变	16	0.03 $\pm$ 0.21	0.03 $\pm$ 0.21	0.05 $\pm$ 0.11	0.04 $\pm$ 0.11
干预组	右侧大脑病变	15	0.03 $\pm$ 0.17	-0.01 $\pm$ 0.22	0.13 $\pm$ 0.26	0.02 $\pm$ 0.18
对照组	右侧大脑病变	14	0.05 $\pm$ 0.15	0.03 $\pm$ 0.20	0.11 $\pm$ 0.20	0.05 $\pm$ 0.15

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组同侧大脑病变治疗后比较,^b $P<0.05$

表 6 相关性分析

组别	通道	脑区	r 值	P 值
干预组	CH27	LPFC	0.513	0.031
干预组	CH13	LPSC	0.533	0.002
对照组	CH27	LPFC	0.471	0.042

范式(如 fMRI、PET)来很好地表示,且 fMRI 和 PET 等脑功能成像技术受到测量困难的限制,患者难以在扫描环境中执行任务^[14]。而 fNIRS 是一种新兴的非侵入性神经成像手段,它提供了大脑氧合状态下的连续性,并允许在没有体位约束的情况下测量^[15-16]。目前,fNIRS 已被用于研究健康成年人和脑卒中患者运动时的大脑功能^[17-20]。初步研究表明,HbO₂ 浓度被用作大脑激活过程中局部脑血氧变化的标志,其对运动任务相关信号的变化具有更高的敏感性^[18]。β 值是由任务期间的 HbO₂ 浓度计算得出,作为衡量脑区激活程度的指标,具有较好的准确性^[21-22]。因此,本研究采用 β 值作为主要的观察指标,旨在更客观地观察不同脑区的激活情况。

本研究结果显示,治疗前,干预组 PFC、MC 和 PSC 皮质的 β 值与对照组比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后,干预组 LPFC 和 LPSC 区的 β 值与对照组的差异显著($P<0.05$),分析左侧和右侧病变脑区的 fNIRS 结果发现,左侧干预组与对照组之间的 LPFC 和 LPSC 区 β 值差异均有统计学意义($P<0.05$);治疗后,左侧干预组 LPSC 区的 β 值与治疗前比较,差异有统计学意义($P<0.05$);干预组患者上肢运动功能评分较对照组明显增加,与 fNIRS 探测的皮质激活情况结果一致。这些结果提示低频 rTMS 通过降低健侧大脑皮质的兴奋性,使受到抑制的患侧大脑皮质得到解除,从而促进患者上肢功能的恢复。但本研究中,右侧病变脑区患者 RPFC 和 RPSC 区的 β 值虽有所升高,但与治疗前比较,差异无统计学意义($P>0.05$),这可能与上肢运动过程中的皮质激活模式有关。

Liu 等^[23] 研究报道,上肢运动过程中主要存在双侧皮质激活模式,未发现偏侧化。Tamashiro 等^[24] 通过使用 fNIRS 检测 59 例行上肢运动任务的脑卒中患者,发现大脑活动的显著不对称性。Wang 等^[25] 使用 fNIRS 对脑卒中患者 PFC 皮质的激活进行偏侧化分析,结果发现 PFC 皮质的激活出现左侧化现象。上述结果也提示了脑卒中患者运动过程中,多个大脑区域可能会出现不对称的激活。

本研究还分析了 FMA-UE 评分的变化量与 β 值变化量的相关性,结果显示,干预组患者的 FMA-UE 评分的变化量与 CH27 和 CH13 的 β 值变化量呈中度

相关性($P<0.05$),且对照组患者的 FMA-UE 评分的变化量与 CH27 的 β 值变化量呈低度相关性($P<0.05$)。提示 LPFC 和 LPSC 区的激活与上肢运动功能的改善具有相关性。

综上所述,本研究通过评估不同区域的大脑激活程度与运动功能障碍的情况,针对不同的病变部位的患者进行分析,研究了不同个体间以及不同部位的大脑皮质激活情况。但本研究尚存在一定的局限性,如本研究没有把脑区进行细分,无法细致了解每个脑区的激活情况,在以后研究中应更加细化脑区进行分析。另外,本研究纳入的样本量少,治疗时间短,并缺乏长期随访,在以后工作中需要进一步加大样本量,增加治疗时间,并进行长期随访。

参 考 文 献

[1] Thomson K,Pollock A,Bugge C,et al. Commercial gaming devices for stroke upper limb rehabilitation; the stroke survivor experience[J].J Rehabil Assist Technol Eng, 2020, 7: 2055668320915381. DOI: 10.1177/2055668320915381.

[2] Xiong F, Liao X, Xiao J, et al. Emerging limb rehabilitation therapy after post-stroke motor recovery[J].Front Aging Neurosci, 2022, 14: 863379. DOI: 10.3389/fnagi.2022.863379.

[3] 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 (9) : 710-715. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2019.09.003.

[4] Lundquist CB,Maribo T.The Fugl-Meyer assessment of the upper extremity; reliability, responsiveness and validity of the Danish version [J]. Disabil Rehabil, 2017, 39 (9) : 934-939. DOI: 10.3109/09638288.2016.1163422.

[5] Tang Z, Han K, Wang R, et al. Excitatory repetitive transcranial magnetic stimulation over the ipsilesional hemisphere for upper limb motor function after stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Front Neurol, 2022, 13: 918597. DOI: 10.3389/fneur.2022.918597.

[6] Bertolucci F, Chisari C, Fregni F. The potential dual role of transcallosal inhibition in post-stroke motor recovery [J]. Restor Neurol Neurosci, 2018, 36 (1) : 83-97. DOI: 10.3233/RNN-170778.

[7] Yuan X, Yang Y, Cao N, et al. Promotion of poststroke motor-function recovery with repetitive transcranial magnetic stimulation by regulating the interhemispheric imbalance [J]. Brain Sci, 2020, 10: 648. DOI: 10.3390/brainsci10090648.

[8] Nowak DA, Grefkes C, Ameli M, et al. Interhemispheric competition after stroke: brain stimulation to enhance recovery of function of the affected hand [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2009, 23 (7) : 641-656. DOI: 10.1177/1545968309336661.

[9] Di Pino G, Pellegrino G, Assenza G, et al. Modulation of brain plasticity in stroke: a novel model for neurorehabilitation [J]. Nat Rev Neurol, 2014, 10 (10) : 597-608. DOI: 10.1038/nrneurol.2014.162.

[10] Simonetta-Moreau M. Non-invasive brain stimulation (NIBS) and motor recovery after stroke [J]. Ann Phys Rehabil Med, 2014, 57 (8) : 530-542. DOI: 10.1016/j.rehab.2014.08.003.

[11] Wang L, Zhu QX, Zhong MH, et al. Effects of corticospinal tract integ-

- city on upper limb motor function recovery in stroke patients treated with repetitive transcranial magnetic stimulation[J]. J Integr Neurosci, 2022;21(2):50. DOI:10.31083/j.jin2102050.
- [12] Zhang L, Xing G, Shuai S, et al. Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation for stroke-induced upper limb motor deficit: a meta-analysis[J]. Neural Plast, 2017;2017:2758097. DOI:10.1155/2017/2758097.
- [13] El-Tamawy MS, Darwish MH, Elkholy SH, et al. Low frequency transcranial magnetic stimulation in subacute ischemic stroke: Number of sessions that altered cortical excitability[J]. NeuroRehabilitation, 2020;47(4):427-434. DOI:10.3233/NRE-203156.
- [14] Delorme M, Vergotte G, Perrey S, et al. Time course of sensorimotor cortex reorganization during upper extremity task accompanying motor recovery early after stroke: an fNIRS study[J]. Restor Neurol Neurosci, 2019;37(3):207-218. DOI:10.3233/RNN-180877.
- [15] Gramigna V, Pellegrino G, Cerasa A, et al. Near-infrared spectroscopy in gait disorders: is it time to begin[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2017;31(5):402-412. DOI:10.1177/1545968317693304.
- [16] Rieke JD, Matarasso AK, Yusufali MM, et al. Development of a combined, sequential real-time fMRI and fNIRS neurofeedback system to enhance motor learning after stroke[J]. J Neurosci Methods, 2020;341:108719. DOI:10.1016/j.jneumeth.2020.108719.
- [17] Balters S, Li R, Espil FM, et al. Functional near-infrared spectroscopy brain imaging predicts symptom severity in youth exposed to traumatic stress[J]. J Psychiatr Res, 2021;144:494-502. DOI:10.1016/j.jpsychires.2021.10.020.
- [18] Liang J, Song Y, Belkacem AN, et al. Prediction of balance function for stroke based on EEG and fNIRS features during ankle dorsiflexion[J]. Front Neurosci, 2022;16:968928. DOI:10.3389/fnins.2022.968928.
- [19] Bu L, Qu J, Zhao L, et al. A neuroergonomic approach to assessing motor performance in stroke patients using fNIRS and behavioral data[J]. Appl Ergon, 2023;109:103979. DOI:10.1016/j.apergo.2023.103979.
- [20] Liang J, Song Y, Belkacem AN, et al. Prediction of balance function for stroke based on EEG and fNIRS features during ankle dorsiflexion[J]. Front Neurosci, 2022;16:968928. DOI:10.3389/fnins.2022.968928.
- [21] Trambaiolli LR, Cassani R, Biazoli CE, et al. Multimodal resting-state connectivity predicts affective neurofeedback performance[J]. Front Hum Neurosci, 2022;16:977776. DOI:10.3389/fnhum.2022.977776.
- [22] Li R, Zhao C, Wang C, et al. Enhancing fNIRS analysis using EEG rhythmic signatures: an EEG-informed fNIRS analysis study[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2020;67(10):2789-2797. DOI:10.1109/TBME.2020.2971679.
- [23] Liu H, Peng Y, Liu Z, et al. Hemodynamic signal changes and swallowing improvement of repetitive transcranial magnetic stimulation on stroke patients with dysphagia: a randomized controlled study[J]. Front Neurol, 2022;13:918974. DOI:10.3389/fneur.2022.918974.
- [24] Tamashiro H, Kinoshita S, Okamoto T, et al. Effect of baseline brain activity on response to low-frequency rTMS/intensive occupational therapy in poststroke patients with upper limb hemiparesis: a near-infrared spectroscopy study[J]. Int J Neurosci, 2019;129(4):337-343. DOI:10.1080/00207454.2018.1536053.
- [25] Wang D, Wang J, Zhao H, et al. The relationship between the prefrontal cortex and limb motor function in stroke: a study based on resting-state functional near-infrared spectroscopy[J]. Brain Res, 2023;1805:148269. DOI:10.1016/j.brainres.2023.148269.

(修回日期:2024-01-12)

(本文编辑:汪 玲)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

中华医学会系列杂志版权声明

中华医学会系列杂志上刊载的所有内容,包括但不限于版面设计、数字资源、文字报道、图片、声音、录像、图表、标志、标识、广告、商标、商号、域名、软件、程序、版面设计、专栏目录与名称、内容分类标准以及为注册用户提供的任何或所有信息,均受《中华人民共和国著作权法》《中华人民共和国商标法》《中华人民共和国专利法》及适用之国际公约中有关著作权、商标权、专利权及/或其它财产所有权法律的保护,为中华医学会及/或相关权利人专属所有或持有。中华医学会授权《中华医学杂志》社有限责任公司管理和经营。

使用者将中华医学会系列杂志提供的内容与服务用于非商业用途、非盈利、非广告目的而纯作个人消费时,应遵守著作权法以及其他相关法律的规定,不得侵犯中华医学会、《中华医学杂志》社有限责任公司及/或相关权利人的权利。

使用者将中华医学会系列杂志提供的内容与服务用于商业、盈利、广告性目的时,需征得《中华医学杂志》社有限责任公司及/或相关权利人的书面特别授权,注明作者及文章出处,并按有关国际公约和中华人民共和国法律的有关规定向相关权利人支付相关费用。

未经《中华医学杂志》社有限责任公司的明确书面特别授权,任何人不得变更、发行、播送、转载、复制、重制、改动、散布、表演、展示或利用中华医学会系列杂志的局部或全部的内容或服务或在非《中华医学杂志》社有限责任公司所属的服务器上作镜像,否则以侵权论,依照《中华人民共和国著作权法》及相关法律追究经济赔偿和其它侵权法律责任。