

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2021.09.005
文章编号: 1005-8982 (2021) 09-0023-07

脑血管疾病专题·论著

基于任务态fMRI的rTMS促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复及其机制的研究*

包元飞¹, 杜朝品¹, 顾玉玲², 陈小东³

(南通大学附属南通第三医院 1. 神经内科, 2. 康复科, 3. 影像科, 江苏 南通 226000)

摘要: **目的** 探讨基于任务态功能性磁共振成像(fMRI)的重复经颅磁刺激(rTMS)促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复的机制。**方法** 选取2017年1月—2019年1月南通大学附属南通第三医院收治的脑卒中伴运动功能障碍患者120例,按照完全随机化设计将所有患者分为高频组、低频组和假刺激组,每组40例。高频组患者使用高频rTMS(10 Hz)治疗,低频组患者使用低频rTMS(1 Hz)治疗,假刺激组患者行rTMS假刺激治疗。比较3组患者治疗前后的上肢功能、运动功能、平衡功能、大脑皮层兴奋性及任务态fMRI影像变化。**结果** 3组患者的性别、平均年龄、病灶部位比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。3组治疗前、治疗后5 d、治疗后3个月上肢Fugl-Meyer评定量表(运动功能)(FMA)评分、Wolf运动功能测试量表(WMFT)评分、运动功能评估量表(MAS)评分、Berg平衡量表(BBS)评分、患侧半球运动诱发电位(MEP)潜伏期及MEP最大振幅比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。与治疗前比较,治疗后假刺激组患者患侧运动区激活无明显改善,低频组患者患侧运动区激活增加,健侧运动区激活降低,高频组患者患侧运动区激活明显增加。治疗后高频组与假刺激组比较,高频组患者患侧M1、SMA明显正激活;低频组与假刺激组比较,低频组患者患侧M1明显负激活;高频组与低频组比较,两组患者双侧M1、辅助运动区(SMA)均明显正激活。**结论** 基于任务态fMRI的rTMS促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复的机制可能与改善患者大脑皮层兴奋性、局部神经活动有关。

关键词: 脑卒中; 运动功能障碍; 任务态功能性磁共振成像; 重复经颅磁刺激; 运动功能

中图分类号: R743

文献标识码: A

rTMS based on fMRI in task state promotes the recovery of motor function in stroke patients with dyskinesia and its mechanism*

Yuan-fei Bao¹, Chao-pin Du¹, Yu-ling Gu², Xiao-dong Chen³

(1. Department of Neurology, 2. Department of Rehabilitation, 3. Department of Imaging, Nantong Third Hospital Affiliated to Nantong University, Nantong, Jiangsu 226000, China)

Abstract: Objective To study the mechanism of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) based on task state functional magnetic resonance imaging (fMRI) to promote the recovery of motor function in stroke patients with dyskinesia. **Methods** A total of 120 stroke patients with motor impairment admitted to our hospital from January 2017 to January 2019 were randomly divided into high-frequency group, low-frequency group, and pseudo-stimulation group, with 40 cases in each group. The high frequency group was treated with high frequency rTMS (10 Hz), the low frequency group was treated with low frequency rTMS (1 Hz), and the false stimulus group was treated with rTMS. The changes of upper limb function, motor function, balance function, cortical excitability, and task-state fMRI images before and after treatment were analyzed. **Results** There was no significant difference between the three groups in gender, average age, focus location, and other general data ($P > 0.05$). The changes of

收稿日期: 2020-11-12

* 基金项目: 南通市科技项目 (No: MS12017021-4)

FMA, wmf, MAS, BBS, MEP latencies, and maximum amplitude of MEP in upper limb of high frequency group, low frequency group, and false stimulation group before treatment, 5 days after treatment, and 3 months after treatment were compared by ANOVA of repeated measurement data ($P < 0.05$). The changes of FMA and wmf in upper limb of high frequency group, low frequency group, and false stimulation group were different. The scores of MAS and BBS in high frequency group, low frequency group, and false stimulation group were different ($P < 0.025$). The changes of MEP latency and MEP maximum amplitude in the affected hemisphere of high frequency group, low frequency group and false stimulation group were different ($P < 0.05$). Compared with the pre-treatment, there was no improvement in the activation of the patient's side motor area in the false stimulation group after treatment, the activation of the patient's side motor area in the low frequency group increased, the activation of the healthy side motor area decreased, and the activation of the patient's side motor area in the high frequency group increased significantly. After treatment, M1 and SMA in the affected side of the patients in the high frequency group were significantly positively activated compared with the false stimulation group; M1 in the affected side of the patients in the low frequency group was significantly negatively activated compared with the false stimulation group; M1 and SMA in both sides of the patients in the high frequency group were significantly positively activated compared with the low frequency group. **Conclusion** Based on fMRI, it was found that the mechanism of rTMS promoting motor function recovery in stroke patients with motor dysfunction may be related to the improvement of cortical excitability and local nerve activity.

Keywords: stroke; movement disorders; task-state functional magnetic resonance imaging; repetitive transcranial magnetic stimulation; motor function

脑卒中在临床被分为出血性脑卒中与缺血性脑卒中, 目前已经成为全世界范围内致残的主要原因之一^[1]。脑卒中患者接受标准的康复治疗, 大部分仍会有不同严重程度的运动功能障碍^[2], 对患者的生活产生较大的影响, 给患者家庭、社会带来较大的负担。有研究认为^[3], 脑卒中为高异质性, 目前临床上对脑卒中后发生运动功能障碍的机制尚不明确, 使现有的康复治疗脑卒中合并运动功能障碍的效果并不理想, 大多数患者预后不良。目前随着影像技术的不断发展, 神经病学领域中经颅磁刺激的应用逐渐广泛, 且已经证实脑卒中运动功能的恢复与神经可塑性有关, 但其作用的具体机制尚未完全明确^[4]。因此本研究对脑卒中伴运动功能障碍的患者行重复经颅磁刺激(repeated transcranial magnetic stimulation, rTMS)治疗, 在任务态功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的基础上分析rTMS对脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复的影响, 并探讨其机制。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2017年1月—2019年1月南通大学附属南通第三医院收治的脑卒中伴运动功能障碍患者120例。

按照完全随机化设计将所有患者随机分为高频组、低频组和假刺激组, 每组40例。高频组: 男性24例, 女性16例; 年龄45~70岁, 平均(57.5 ± 1.5)岁; 病灶位于皮层5例, 皮层下29例, 皮层+皮层下6例。低频组: 男性20例, 女性20例; 年龄45~70岁, 平均(57.6 ± 1.3)岁; 病灶部位位于皮层7例, 皮层下26例, 皮层+皮层下7例。假刺激组: 男性18例, 女性22例; 年龄45~70岁, 平均(57.8 ± 1.6)岁; 病灶部位位于皮层8例, 皮层下25例, 皮层+皮层下7例。3组患者的性别构成、平均年龄、病灶部位等一般资料比较, 差异无统计学意义($P > 0.05$), 具有可比性(见表1)。本研究经医院医学伦理委员会批准, 患者及家属签署知情同意书, 本研究经中国临床试验注册中心注册批准(ChiCTR-IOR-14005363)。纳入标准: ①均为缺血性卒中; ②MRI检查显示梗死病灶区分布在大脑动脉供血区; ③发病时间 ≤ 15 d; ④单侧上肢运动功能障碍。排除标准: ①存在感觉性失语、癫痫、忽视等症状; ②TMS、MRI禁忌证者; ③认知功能障碍者; ④合并患有其他神经系统类疾病者; ⑤有肿瘤史、脑外伤史、癫痫家族史; ⑥心、肺、肝、肾功能不全者; ⑦长期酗酒或长期服用镇静药物、抗抑郁药物等可改变皮层兴奋性的药物者。

表1 3组患者一般资料比较 (n=40)

组别	男/女/ 例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	病灶部位(皮层/皮层下/ 皮层+皮层下)/例
高频组	24/16	57.5 ± 1.5	5/29/6
低频组	20/20	57.6 ± 1.3	7/26/7
假刺激组	18/22	57.8 ± 1.6	8/25/7
χ^2/F 值	1.869	1.298	1.125
P 值	0.393	0.260	0.890

1.2 方法

1.2.1 治疗方法 所有患者均行统一基础康复治疗方

案:①脑卒中二级预防,包括合理膳食、控制血压、血脂、血糖及抗血小板聚集药物的应用。②康复评定与治疗,包括物理疗法、作业疗法、言语评定与治疗、构音障碍的评定与治疗、吞咽障碍的评定与治疗、认知功能评定与治疗、心理评定与治疗等。③rTMS参照国际联邦临床生理学指南的安全性推荐参数进行设定,rTMS设备均使用深圳英智科技有限公司的S-100A型脉冲磁场刺激仪。高频组患者使用高频rTMS治疗,采用10 Hz刺激患侧半球的M1区,刺激强度为100%静息运动阈值,刺激时间持续4 s,间隔40 s,共行30次,总刺激量1 200个脉冲,总刺激时间22 min。低频组患者使用低频rTMS治疗,采用1 Hz刺激患者健侧半球的M1区,刺激强度为100%静息运动阈值,刺激时间持续120 s,间隔40 s,共行10次,总刺激量1 200个脉冲,总刺激时间26 min。假刺激组患者行rTMS假刺激治疗,刺激参数、频率、时间、部位同低频组,将线圈反转置于患者头颅表面,形成相同的刺激声音,为无效刺激。3组患者均连续刺激5 d,并在每日刺激后行常规康复训练,包括Rood方法、Bobath技术、PNF技术、Brunnstrom技术加快患者运动功能的恢复,并根据患者情况制订促进原发病恢复、预防卒中再发的治疗方案。

1.2.2 上肢功能评价 使用Fugl-Meyer评定量表(运动功能)(FMA)对两组患者治疗前、治疗后5 d、治疗后3个月的上肢运动功能进行评价,内容包括患者上肢、手、腕、协调能力等4个方面,每个方面评分为0~2分,总分为66分,分数越高说明患者运动功能越好。使用Wolf运动功能测试量表(WMFT)对患者治疗前后上肢功能进行评价,内容

包括前臂与手放到指定位置的能力、前臂回收能力、侧方伸肘能力及手抓握和精细动作评定等,共15项,计分为6个等级,分别计为0~5分,总分75分,分数越高说明患者上肢功能越好。

1.2.3 运动功能评价 使用卒中患者运动功能评估量表(MAS)对两组患者治疗前、治疗后5 d,治疗后3个月的运动功能进行评价,内容包括患者整体运动能力和任务完成能力,共9项,计分为6个等级,分别计为0~5分,总分48分,分数越高说明患者整体运动功能越好。

1.2.4 平衡功能评价 使用Berg平衡量表(BBS)对两组患者治疗前、治疗后5 d,治疗后3个月的平衡能力进行评价,内容分为坐位、站立位、闭目、弯腰等各种体位下维持平衡的能力,共14项,计分为5个等级,分别计为1~5分,总分56分,分数越高说明患者平衡功能越好。

1.2.5 运动皮层兴奋性评价 使用单脉冲TMS检测运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)对患者双侧半球运动皮层兴奋性进行评价,在患者侧拇短展肌上能持续获得稳定、最大MEP振幅的运动皮质区,即可确定为TMS的最佳刺激点。对刺激强度进行调整后行最大MEP,记录患者患侧半球MEP潜伏期和MEP最大振幅。

1.2.6 fMRI数据采集 使用3.0T的GE 750磁共振扫描成像系统,标准的头颅32通道线圈,使用常规的MRI、3D高分辨T₁W₁解剖像、任务态fMRI对患者进行全脑扫描。任务态fMRI扫描使用单次激发平面回波成像序列,采用组块设计,让患者患手、健手均做拇指与食指的对指运动,患手做被动运动,共做5次,15个组块,每个组块持续20 s,扫描5 min。在MATLAB 7.14平台上采用SPM8、DPARSFA软件处理任务态fMRI数据,分析患者治疗前后任务态fMRI的变化。

1.3 统计学方法

数据分析采用SPSS 23.0统计软件。计量数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,多组间的比较采用单因素方差分析或重复测量的方差分析,进一步两两比较采用LSD- t 检验,重复测量分析之时间维度的多次比较按Bonferroni校正法调整检验水准 $\alpha'=0.025$;计数资料以例(%)表示,比较采用 χ^2 检验或校正 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3组患者治疗前后上肢FMA、WMFT评分比较

3组患者治疗前后上肢FMA、WMFT评分比较,采用重复测量设计的方差分析,结果:①不同时间点的上肢FMA、WMFT评分有差异($F=3\ 456.019$ 和 $1\ 350.245$,均 $P=0.000$);②3组的上肢FMA、WMFT

评分有差异($F=278.158$ 和 451.921 ,均 $P=0.000$);③3组的上肢FMA、WMFT评分变化趋势有差异($F=88.131$ 和 93.738 ,均 $P=0.000$)。进一步两两比较,低频组、高频组治疗后的上肢FMA、WMFT评分较假刺激组升高($P<0.05$);3组治疗后5d和治疗后3个月的上肢FMA、WMFT评分比治疗前升高($P<0.025$)。见表2。

表2 3组患者治疗前后上肢FMA、WMFT评分比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	FMA			WMFT		
	治疗前	治疗后5d	治疗后3个月	治疗前	治疗后5d	治疗后3个月
假刺激组	32.17 ± 2.45	42.66 ± 1.10 ^①	49.61 ± 1.58 ^①	49.74 ± 1.25	52.09 ± 2.18 ^①	60.41 ± 5.66 ^①
低频组	32.22 ± 2.42	52.66 ± 2.00 ^{①②}	60.83 ± 3.55 ^{①②}	49.83 ± 1.29	65.66 ± 3.46 ^{①②}	73.62 ± 1.28 ^{①②}
高频组	32.18 ± 2.35	52.76 ± 2.00 ^{①②}	60.22 ± 3.58 ^{①②}	49.70 ± 1.23	65.69 ± 3.57 ^{①②}	72.43 ± 1.25 ^{①②}

注:①与组内治疗前比较, $P<0.025$;②与假刺激组同时时间点比较, $P<0.05$ 。

2.2 3组患者治疗前后MAS、BBS评分比较

3组患者治疗前后MAS、BBS评分比较,采用重复测量设计的方差分析,结果:①不同时间点的MAS、BBS评分有差异($F=863.382$ 和 $3\ 479.644$,均 $P=0.000$);②3组的MAS、BBS评分有差异($F=438.563$ 和

317.284 ,均 $P=0.000$);③3组的MAS、BBS评分变化趋势有差异($F=109.768$ 和 72.441 ,均 $P=0.000$)。进一步两两比较,低频组、高频组治疗后的MAS、BBS评分较假刺激组升高($P<0.05$);3组治疗后5d和治疗后3个月的MAS、BBS评分较治疗前升高($P<0.025$)。见表3。

表3 3组患者治疗前后MAS、BBS评分比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	MAS			BBS		
	治疗前	治疗后5d	治疗后3个月	治疗前	治疗后5d	治疗后3个月
假刺激组	36.87 ± 1.24	38.58 ± 2.50 ^①	41.11 ± 3.55 ^①	25.46 ± 0.70	32.55 ± 1.50 ^①	38.59 ± 2.58 ^①
低频组	36.99 ± 1.24	48.53 ± 3.63 ^{①②}	55.81 ± 2.29 ^{①②}	25.39 ± 0.71	38.65 ± 2.28 ^{①②}	45.17 ± 1.22 ^{①②}
高频组	36.86 ± 1.24	49.71 ± 3.65 ^{①②}	55.37 ± 2.20 ^{①②}	25.38 ± 0.68	39.53 ± 2.27 ^{①②}	45.22 ± 1.23 ^{①②}

注:①与组内治疗前比较, $P<0.025$;②与假刺激组同时点比较, $P<0.05$ 。

2.3 3组患者治疗前后大脑皮层兴奋性变化

3组患者治疗前后患侧半球MEP潜伏期和最大振幅比较,采用重复测量设计的方差分析,结果:①不同时间点的患侧半球MEP潜伏期和最大振幅有差异($F=3\ 735.704$ 和 28.080 ,均 $P=0.000$);②3组患侧半球MEP潜伏期和最大振幅有差异($F=557.442$ 和

5.525 , $P=0.000$ 和 0.005);③3组患侧半球MEP潜伏期和最大振幅变化趋势有差异($F=142.544$ 和 6.852 ,均 $P=0.000$)。进一步两两比较,与假刺激组比较,低频组、高频组治疗后的患侧半球MEP潜伏期延长、MEP最大振幅下降($P<0.05$);3组治疗后5d和治疗后3个月的患侧半球MEP潜伏期比治疗前延长,MEP最大振幅下降($P<0.025$)。见表4。

表4 3组患者治疗前后大脑皮层兴奋性变化比较 ($n=40, \bar{x} \pm s$)

组别	MEP潜伏期/ms			MEP最大振幅/mV		
	治疗前	治疗后5d	治疗后3个月	治疗前	治疗后5d	治疗后3个月
假刺激组	1.12 ± 0.02	1.35 ± 0.08 ^①	1.98 ± 0.01 ^①	25.48 ± 2.46	25.08 ± 1.99	24.46 ± 0.54 ^①
低频组	1.13 ± 0.03	2.00 ± 0.10 ^{①②}	2.60 ± 0.19 ^{①②}	25.48 ± 2.43	24.29 ± 0.65 ^{①②}	23.46 ± 1.20 ^{①②}
高频组	1.10 ± 0.01	2.01 ± 0.16 ^{①②}	2.64 ± 0.20 ^{①②}	25.56 ± 2.42	24.14 ± 0.68 ^{①②}	23.62 ± 1.03 ^{①②}

注:①与组内治疗前比较, $P<0.025$;②与假刺激组同时点比较, $P<0.05$ 。

2.4 3组患者治疗前后患手运动时脑激活任务态fMRI的变化

3组患者治疗前后患手运动时脑激活任务态fMRI变化见图1:与治疗前比较,假刺激组患者治疗后患侧运动区激活物无明显改善,低频组患者患侧运动区激活增加(红黄色块,面积变大趋亮),健侧运动区激活减小(蓝色块,亮度变小趋无),高频组患者患侧运动区激活显著增加(红黄色块,面积变大趋亮)。

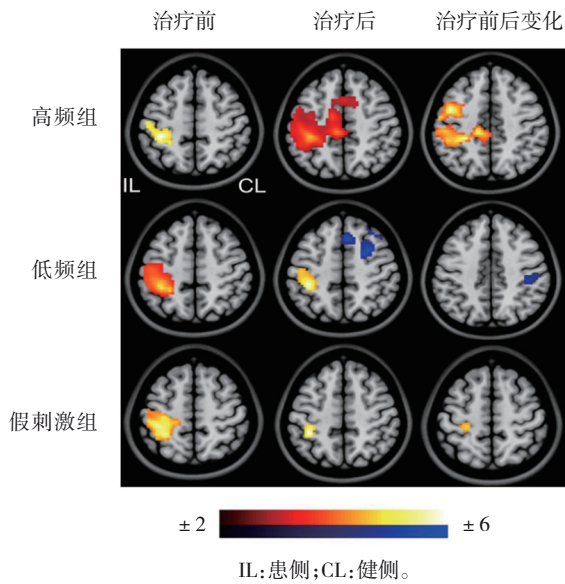


图1 3组患者治疗前后患手运动时脑激活任务态fMRI的变化

2.5 3组患者治疗前后患手运动时脑激活任务态fMRI的组间变化

3组患者治疗前后患手运动时脑激活任务态fMRI组间变化见图2:治疗前3组患者脑激活程度相近;治疗后与治疗前相比3组患者双侧M1、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)均被激活(红黄色块,面积变大趋亮)。治疗后高频组与假刺激组比较,高频组患者患侧M1、SMA明显正向激活(红黄色块,面积变大趋亮);治疗后低频组与假刺激组比较,低频组患者患侧M1明显负向激活(蓝色块,亮度变小趋无);治疗后高频组与低频组比较,两组患者双侧M1、SMA均明显正向激活(红黄色块,面积变大趋亮)。

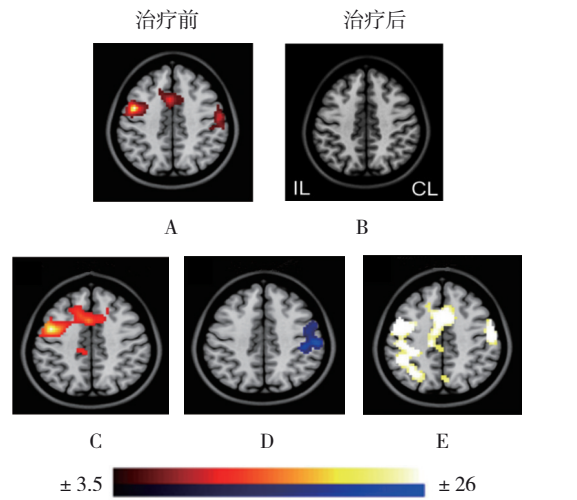


图2 3组患者治疗前后患手运动时脑激活任务态fMRI的组间变化

3 讨论

随着康复治疗的广泛应用,脑卒中伴运动功能障碍患者逐渐接受康复治疗,通过对患者行个体化的康复训练,患者的运动功能障碍得到一定程度的改善,但仍有部分患者在康复治疗中出现下肢康复容易,上肢康复困难的状况,导致多数患者患侧上肢功能无法具备肢体实用功能^[5]。

TMS属于一种无痛、无创、安全的非侵入性磁刺激技术,一方面可用于神经康复治疗,另一方面可对神经功能进行评估,被称为“21世纪四大脑科学技术”^[6]。rTMS是一种在TMS的基础上发展而来,通过对刺激频率进行调节(其中低频率对神经元进行刺激,高频率对兴奋神经元进行刺激),进而对大脑神经可塑性、皮层兴奋性进行调节,最终促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能的恢复^[7-9]。有研究认为^[10],rTMS的作用原理为磁生电、电生磁,通过作用于神经系统,对颅内电生理活动、代谢活动发生改变,调节皮质兴奋性,进而改善脑局部血流、脑代谢,最终改善神经系统活动,促进神经功能恢复。另外有研究认为^[11-13],rTMS治疗的目的是降低健侧脑、增加患侧脑的兴奋性,最终对患侧脑的抑制降低。孔培培等^[14]认为低频rTMS可改善缺血性脑卒中恢复期患者的认知功能与肢体运动功能,并提升其执行能

力。范真真等^[15]发现,对脑卒中抑郁患者行高频 rTMS 联合高压氧治疗可改善患者抑郁症状。另外梁绮婷等^[16]认为高频 rTMS 可改善脑卒中患者的感觉功能和上肢功能。rTMS 可改善脑卒中患者的运动功能障碍已被越来越多的研究证实,但目前临床上对 rTMS 改善脑卒中患者运动功能障碍的具体作用机制尚不明确,导致不同的个体接受 rTMS 治疗的变异性增大,使得其在脑卒中患者恢复治疗中的应用仍存在局限性。本研究中使用 rTMS 对脑卒中伴运动功能障碍患者进行治疗,结果显示,使用高频 rTMS、低频 rTMS 治疗的患者与 rTMS 假刺激患者比较,其上肢功能、运动功能及平衡功能均得到显著改善,且使用高频、低频治疗的患者上述功能恢复情况无差异。结果说明, rTMS 可促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能的恢复。

近年来,随着功能影像技术的不断发展, fMRI 是目前脑功能研究的一个热点,因 fMRI 具有空间、时间分辨率高、可重复、无辐射损伤及可以重复检测等优点。理论上认为,凡以反映器官功能状态成像为目标的磁功能成像技术都应称之为功能磁共振成像。观察脑神经元活动和神经通路的 fMRI,包括水平依赖成像、脑代谢测定技术成像、神经纤维示踪技术如弥散张量和磁化转移成像,目前已经广泛应用于临床神经功能的评估中^[17-18]。目前研究认为^[19]脑卒中伴运动功能障碍患者运动皮层神经活动异常,运动皮层功能障碍,通过刺激患者脑 M1 区来调节运动皮层神经活动、促进运动皮层功能重组,进而改善患者的运动功能障碍。而 fMRI 可分析局部脑区活动,可反映出脑内神经元自发活动强度^[20]。本研究对脑卒中伴运动功能障碍患者行 rTMS 与常规治疗,并利用任务态 fMRI 对治疗机制进行分析,结果显示, rTMS 促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复机制与皮层兴奋性、局部神经活动有关,经任务态 fMRI 分析了患者治疗后的大脑运动皮层重组表现,发现患者局部脑运动区神经活动改善,进一步分析高频、低频的具体机制发现,高频 rTMS 可通过提高受损半球皮层兴奋性、局部神经活动来促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能的恢复,而低频 rTMS 可通过降低受损半球皮层兴奋性、局部神经活动来促进脑卒中伴运动功能障碍患者

运动功能的恢复。本研究样本量较小,因此本研究的结论还需后续实验来进一步证实,通过设置 rTMS 的有效参数以获得最佳的治疗效果。

综上所述,基于任务态 fMRI 检测发现, rTMS 促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复的机制可能与改善患者大脑皮层兴奋性、局部神经活动有关。

参 考 文 献 :

- [1] 沈杰,张毅,席军府,等.电针刺运动疗法对脑卒中后手功能障碍的临床研究[J].颈腰痛杂志,2019,40(3):410-411.
- [2] 程欣欣,高润,刘莉.基于运动想象疗法的神经机制在脑卒中后运动功能障碍中的研究进展[J].中国康复,2019,34(6):324-327.
- [3] 王群,谢斌,黄真,等.脑卒中偏瘫患者上肢运动功能障碍的生物力学机制研究[J].中华物理医学与康复杂志,2017,39(10):727-731.
- [4] NOH J S, LIM J H, CHOI T W, et al. Effects and safety of combined rTMS and action observation for recovery of function in the upper extremities in stroke patients: a randomized controlled trial[J]. Restor Neurol Neurosci, 2019, 37(3): 219-230.
- [5] 汤昕未,胡瑞萍,朱玉连,等.间歇性 θ 短阵脉冲刺激对脑卒中后运动功能障碍的影响[J].中国康复医学杂志,2018,33(12):1410-1415.
- [6] 肖长林,潘翠环,陈艳,等.不同频率高频重复经颅磁刺激对缺血性脑卒中患者上肢功能的效果[J].中国康复理论与实践,2019,25(5):557-563.
- [7] 王娟,郑婵娟,崔晓阳,等.重复经颅磁刺激联合认知训练治疗脑卒中后认知障碍的疗效观察[J].神经损伤与功能重建,2019,14(1):11-14.
- [8] 刘超猛,孟瑶,李浩浩,等.重复经颅磁刺激对缺血性脑卒中患者运动功能和血清 MMP-9、hs-CRP 的影响[J].天津医药,2019,47(2):184-188.
- [9] 党宝齐,陈文莉,高凡,等.高频重复经颅磁刺激治疗老年卒中后抑郁的临床疗效[J].实用老年医学,2019,33(5):469-471.
- [10] 陈亮,陈洁,金戈,等.高频重复经颅磁刺激治疗脑卒中后抑郁的有效性及其安全性系统评价[J].中华物理医学与康复杂志,2018,40(6):441-448.
- [11] LEFAUCHEUR J P, ANDRÉ -OBADIA N, ANTAL A, et al. Evidence based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS)[J]. Clin Neurophysiol, 2014, 125(11): 2150-2206.
- [12] NEVA J L, BROWN K E, WADDEN K P, et al. The effects of five sessions of continuous theta burst stimulation over contralesional sensorimotor cortex paired with paretic skilled motor practice in people with chronic stroke[J]. Restor Neurol Neurosci, 2019, 37(3): 273-290.
- [13] PARK E, KIM M S, CHANG W H, et al. Effects of bilateral repetitive transcranial magnetic stimulation on post-stroke

- Dysphagia[J]. Brain Stimul, 2017, 10(1): 75-82.
- [14] 孔培培, 陈颖, 翟清华, 等. 低频rTMS联合作业疗法在缺血性脑卒中恢复期中的应用[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2019, 22(3): 238-245.
- [15] 范真真, 李敏, 谢倩, 等. 高频重复经颅磁刺激联合高压氧治疗脑卒中后抑郁效果观察[J]. 山东医药, 2019, 59(16): 58-60.
- [16] 梁绮婷, 钟燕桃, 施晓耕, 等. 高频重复经颅磁刺激对脑卒中患者上肢运动及感觉功能的影响[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2018, 20(11): 1187-1190.
- [17] BOLT T, NOMI J S, VIJ S G, et al. Inter-subject phase synchronization for exploratory analysis of task-fMRI[J]. Neuroimage, 2018, 176: 477-488.
- [18] PEREIRA J, DIREITO B, SAYAL A, et al. Self-modulation of premotor cortex interhemispheric connectivity in a real-time fMRI neurofeedback study using an adaptive approach[J]. Brain Connect, 2019, 9(9):662-672.
- [19] 周龙江, 王伟, 张新江, 等. Bold-fMRI联合DTT技术在缺血性脑卒中患者上肢功能恢复磁共振研究中的应用[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2016, 38(12): 894-899.
- [20] 罗红, 余茜. 基于静息态fMRI技术观察高频重复经颅磁刺激对出血性脑卒中认知功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(4): 279-282.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 包元飞, 杜朝品, 顾玉玲, 等. 基于任务态fMRI的rTMS促进脑卒中伴运动功能障碍患者运动功能恢复及其机制的研究[J]. 中国现代医学杂志, 2021, 31(9): 23-29.

Cite this article as: BAO Y F, DU C P, GU Y L, et al. rTMS based on fMRI in task state promotes the recovery of motor function in stroke patients with dyskinesia and its mechanism[J]. China Journal of Modern Medicine, 2021, 31(9): 23-29.