

# 高频经颅磁刺激联合镜像治疗对男性脑卒中患者上肢功能恢复的影响

杨剑 孟殿怀 邵中洋 程清 王梦婷 殷稚飞

**【摘要】 目的** 探讨 10 Hz 高频重复经颅磁刺激 (rTMS) 联合镜像治疗 (MT) 对男性慢性期脑卒中患者上肢功能恢复的影响。**方法** 选取 45 例男性首次脑卒中住院慢性期患者 (病程 3~6 个月), 采用随机数字表法将其分为 A 组、B 组及 C 组, 每组 15 例, 在治疗过程中 B 组有 1 例患者脱落。3 组患者均给予常规药物及康复治疗, A 组患者在此基础上给予 60 min MT 治疗; B 组患者则先给予患侧 M1 区高频 (10 Hz) rTMS 治疗, 再辅以 MT 治疗; C 组则先进行 MT 治疗, 再给予患侧 M1 区高频 rTMS 治疗。以上治疗每天 1 次, 每周治疗 5 d, 共持续治疗 4 周。于治疗前、治疗 4 周后分别检测各组患者患侧拇短展肌运动诱发电位 (MEP) 皮质潜伏期、中枢运动传导时间 (CMCT) 及上肢运动功能指标, 包括上肢 Fugl-Meyer 评分 (FMA)、上肢运动力指数 (MI) 及偏瘫上肢功能测试-香港版 (FTHUE-HK) 分级等。**结果** 治疗 4 周后, 3 组患者 MEP 皮质潜伏期和 CMCT 均比治疗前明显缩短 ( $P < 0.05$ ), 其中 B 组患者 MEP 皮质潜伏期较 A 组明显缩短, CMCT 较 A 组、C 组均明显缩短。治疗 4 周后 3 组患者上肢 FMA、MI 评分和 FTHUE-HK 分级均较治疗前明显改善 ( $P < 0.05$ ), 其中 B 组患者上肢 FMA 评分明显优于 A 组和 C 组 ( $P < 0.05$ ), FTHUE-HK 分级明显优于 A 组 ( $P < 0.05$ )。**结论** 单纯 MT 或 10 Hz rTMS 联合 MT 治疗均可改善脑卒中慢性期患者大脑运动皮质兴奋性和上肢运动功能, 并以 rTMS 治疗结束后辅以 MT 的联合干预方案效果更优。

**【关键词】** 重复经颅磁刺激; 镜像治疗; 脑卒中; 运动诱发电位; 上肢运动功能

**High frequency transcranial magnetic stimulation combined with mirror therapy improves upper limb motor function post-stroke** Yang Jian\*, Meng Dianhuai, Shao Zhongyang, Cheng Qing, Wang Mengting, Yin Zhifei.

\* Department of Rehabilitation, Qixia District Hospital, Nanjing 210046, China

Corresponding author: Yin Zhifei, Email: feifei44881@sina.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the effect of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) combined with the mirror therapy (MT) on the recovery of upper limb function recovery 3 to 6 months after a stroke. **Methods** Forty-five male patients were randomly assigned to an MT (A) group, an rTMS+MT (B) group or an MT+rTMS group (C), each of 15. All received conventional medical treatment and stroke rehabilitation. In addition, group A received 60 min of MT daily, 5 days a week for 4 weeks. Group B received 10 min of rTMS over the M1 area of the affected hemisphere followed by 50 min of MT treatment, and group C received 50 min of MT treatment followed by 10 min of rTMS. rTMS was delivered at a frequency of 10 Hz and an intensity of 90% resting motor threshold. The latency of motor evoked potential (MEP) for the affected abductor pollicis brevis muscle and its central motor conduction time (CMCT) were observed before and after the treatment. The upper extremity portion of the Fugl-Meyer assessment (FMA) was performed along with a functional test for the hemiplegic upper extremity (FTHUE). The motricity index (MI) was also quantified. **Results** Average MEP latency and CMCT had decreased significantly in all three groups after the treatments. The average MEP latency of group B was significantly shorter than that of group A, and CMCT was also significantly shorter than for groups A and C. Moreover, after the intervention, all of the groups had significantly improved their average FMA, MI and FTHUE scores, with the average FMA score of group B significantly better than those of groups A and C. The average FTHUE score of group B was also significantly better than that of group A. **Conclusions** MT either alone or in combination with rTMS can improve cerebral motor cortex excitability and motor recovery after a stroke. Ten minute rTMS sessions followed by 50 min of MT have the best effect.

**【Key words】** Transcranial magnetic stimulation; Mirror therapy; Upper limb motor function; Stroke

脑卒中患者上肢功能恢复往往落后于下肢,约 55%~75% 脑卒中患者在发病 3 个月后(界定为慢性期)仍伴有上肢功能障碍<sup>[1-2]</sup>。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)是近年来被广泛应用于康复治疗的一种非侵入性、无痛、无创新技术<sup>[3]</sup>。Tan 等<sup>[4]</sup>研究显示,高频 rTMS( $\geq 5$  Hz)通过长时程增强效应(long-term potentiation, LTP)能直接兴奋患侧大脑皮质,达到改善脑卒中后肢体运动功能目的。镜像治疗(mirror therapy, MT)是通过患者健侧肢体进行作业活动,借助镜子给患者产生一种以为患肢在运动的错觉,再以这种错觉引导患者进行患肢运动想象训练,从而提高肢体运动功能<sup>[5]</sup>。Kim 等<sup>[6]</sup>对比研究了 MT 和传统康复训练对慢性期脑卒中患者上肢运动功能的影响,结果显示 MT 比传统康复治疗更有利于促进脑卒中患者偏瘫上肢功能恢复及日常生活活动能力提高。目前将 MT 与经颅磁刺激治疗联合用于改善偏瘫肢体功能的研究鲜见报道,本课题通过观察高频 rTMS 联合 MT 对脑卒中慢性期患者上肢功能恢复的影响,为脑卒中患者临床治疗探索更优化治疗方案。

## 对象与方法

### 一、研究对象

选取 2012 年 8 月至 2016 年 7 月期间在南京医科大学第一附属医院康复医学中心(栖霞区医院病区和省级机关医院病区)收治的慢性期脑卒中患者 45 例,均为右利手男性。患者入选标准包括:①均符合 1995 年全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准<sup>[7]</sup>;②经头颅 CT 或 MRI 证实为首次脑梗死或脑出血;③单侧发病,病程 3~6 个月;④上肢和手 Brunnstrom 分期均为 2~4 期;⑤年龄 40~80 岁;⑥可测出患侧脑区运动诱发电位;⑦简易认知功能评分(mini-mental state examination score, MMSE) $>24$  分;⑧无失语、患侧忽略、偏盲或情感障碍等;⑨对本研究知情同意并签署相关文件。患者排除标准包括:①患有进展性卒中、恶性进行性高血压等;②有癫痫病史、一级亲属中有特发性癫痫病史及使用致病药物;③心、肺、肝、肾等重要脏器功能减退或衰竭;④有严重认知及交流障碍而不能配合治疗;⑤有明显颅内压增高指征;⑥戴有起搏器、颅内植入金属或有颅骨缺损等;⑦

有严重颈椎管狭窄等。

采用随机数字表法将上述患者分为 A 组、B 组及 C 组,每组 15 例。在研究期间 B 组有 1 例患者因感冒脱落,最终完成治疗共有 44 例。3 组患者一般资料情况详见表 1,表中数据经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义(均  $P>0.05$ ),具有可比性。

### 二、设备与方法

所有患者均按照脑卒中三级康复治疗方案接受常规康复训练<sup>[10]</sup>,主要包括良肢位摆放、肢体被动运动、诱发粗大运动、提高上肢实用功能训练、促进手指精细运动功能恢复等。另外各组患者每天还接受 MT 和(或) rTMS 治疗,具体治疗方案如下:A 组患者在上述干预基础上给予 60 min MT 治疗;B 组患者先进行 10 min rTMS 治疗,再给予 50 min MT 治疗;C 组患者先进行 50 min MT 治疗,再给予 10 min rTMS 治疗。上述治疗每天 1 次,每周治疗 5 d,连续治疗 4 周。

1. rTMS 治疗:经颅磁刺激仪采用武汉依瑞德公司产 YRD CCY-I 型经颅磁刺激仪,最大磁场强度为 3 T,圆形线圈,磁刺激频率为 0~100 Hz。磁刺激线圈采用 YRD 系列惰性液态冷却圆形线圈,线圈直径 12.5 cm。采用 YRD EE 型诱发电位检测仪,将体表记录镍银电极(直径 9.5 mm)置于患侧拇短展肌(abductor pollicis brevis muscle, APB)部位,主电极置于患侧拇指近指关节,辅电极置于患侧鱼际,参考电极置于患侧腕部。本研究首先在患侧大脑初级运动皮质区(M1 区)测定可引发患侧 APB 最大运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)波幅的位点作为刺激热点<sup>[8]</sup>,并在体表定位帽上标记其位置。所有患者均测量静息运动阈值(rest motor threshold, RMT),检测时患者保持舒适靠坐位,肌肉尽量放松,将刺激线圈轻置于健侧大脑 M1 区热点,给予较大强度单次刺激,待记录到波形、潜伏期基本稳定的 MEP 后,逐渐降低刺激强度,直至 10 次连续刺激中至少有 5 次能诱发出拇短展肌 MEP 波幅  $>50 \mu\text{V}$  的最小刺激强度即为该患者 RMT<sup>[9]</sup>。

rTMS 治疗参数如下:作用部位为患侧大脑 M1 区,磁刺激频率 10 Hz,90% RMT,每刺激 5 s 则间歇 20 s,共治疗 10 min,磁脉冲总数为 1200 个。rTMS 刺激时患者取舒适靠坐位,肌肉放松,头尽量不移动,刺激线圈与颅骨表面相切,中心箭头对准热点,手柄朝向枕侧。

表 1 入选时 3 组患者一般资料情况比较

组别	例数	年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$ )	病程 (d, $\bar{x}\pm s$ )	MMSE (分, $\bar{x}\pm s$ )	RMT (%, $\bar{x}\pm s$ )	Brunnstrom 分级(级, $\bar{x}\pm s$ )		病灶侧边[例(%)]		脑卒中类型[例(%)]	
						上肢	手	右侧	左侧	脑梗死	脑出血
A 组	15	57.2 $\pm$ 9.0	120.0 $\pm$ 33.3	28.27 $\pm$ 1.53	50.33 $\pm$ 8.34	3.20 $\pm$ 0.77	2.60 $\pm$ 0.74	6(40.0)	9(60.0)	10(66.7)	5(33.3)
B 组	14	55.3 $\pm$ 5.6	105.2 $\pm$ 16.4	27.07 $\pm$ 1.64	47.86 $\pm$ 11.22	3.21 $\pm$ 0.70	2.57 $\pm$ 0.76	7(50.0)	7(50.0)	9(64.3)	5(35.7)
C 组	15	60.7 $\pm$ 12.3	123.0 $\pm$ 29.1	27.80 $\pm$ 1.86	49.33 $\pm$ 6.78	2.93 $\pm$ 0.80	2.53 $\pm$ 0.64	10(66.7)	5(33.3)	11(73.3)	4(26.7)

2. MT 治疗:患者坐于桌前,桌面垂直放置一面镜子(尺寸为 50 cm×60 cm),患者将双上肢置于镜子两侧,健侧上肢置于镜子反射面前,患侧上肢置于镜子反射面后。嘱患者观察健侧上肢活动时镜中的成像,并想象患侧肢体正在做相同动作,同时要求患者患侧肢体尽可能执行与健侧上肢一致的运动(包括肩、肘、腕、手指关节的屈伸及旋转动作、取球、握球和持杯等)。

### 三、疗效评定分析

于治疗前、后分别检测各组患者患侧脑区 MEP 及患侧上肢运动功能情况,具体方法如下。

#### (一)MEP 检查

1.皮质潜伏期检测:在受试者患侧大脑 M1 区给予 70%输出强度(阈上刺激)的 TMS,于患侧拇短展肌记录 MEP,取重复性好且波幅较大的 5 条波形,记录其潜伏期值,取平均值<sup>[11]</sup>。

2.中枢运动传导时间(central motor conduction time, CMCT)检查:在受试者患肢同侧第 7 颈椎棘突旁给予阈上强度的 TMS,在患侧拇短展肌处记录 MEP,取重复性好且波幅较大的 5 条波形,记录其潜伏期(即脊髓潜伏期),取平均值。CMCT 为皮质潜伏期与脊髓潜伏期之差<sup>[12]</sup>。

#### (二)上肢运动功能评定

1.上肢 Fugl-Meyer 评分(Fugl-Meyer assessment, FMA):其评定内容包括反射、肩、肘、腕、手等 9 大项,共 33 个小项,每项分级为 3 级(分别计 0~2 分),总分为 66 分,分值越高表示受试者上肢运动功能越好<sup>[13]</sup>。

2.上肢运动力指数(motricity index, MI):其评定内容包括手指抓握、屈肘、肩外展 3 个项目,根据完成动作的肌力情况进行评分,每个项目满分为 33 分,整个上肢分值是 3 个项目的得分之和+1,功能正常为 100 分,分值越高表示患者上肢功能越好<sup>[14]</sup>。

3.偏瘫上肢功能测试-香港版(Hong Kong edition of functional test for the hemiplegic upper extremity, FTHUE-HK):共 12 个测试项目,最高级别为 7 级,级别越高表示患者在日常生活任务中使用上肢的能力越强<sup>[15]</sup>。

### 四、统计学分析

本研究所得计量数据以( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用 IBM SPSS Statistics 20.0 版统计学软件包进行数据分析,计数资料比较采用卡方检验的交叉表分析;计量资料比较采用单因素方差分析,如有显著性差异,则进一步采用最小显著差异法(the least significant difference, LSD)进行多重比较;治疗前、后 MEP 和上肢运动功能组内比较采用配对 *t*-检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

## 结 果

### 一、治疗前、后各组患者 MEP 变化分析

治疗前 3 组患者 MEP 皮质潜伏期、CMCT 组间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。治疗 4 周后,发现 3 组患者 MEP 皮质潜伏期及 CMCT 均较治疗前明显缩短(均 $P<0.05$ ),并且 B 组患者 MEP 皮质潜伏期较 A 组明显缩短,CMCT 较 A 组、C 组均明显缩短,组间差异均具有统计学意义(均 $P<0.05$ )。具体数据见表 2。

表 2 治疗前、后各组患者 MEP 变化情况比较 ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	MEP 皮质潜伏期 (ms)	CMCT(ms)
A 组			
治疗前	15	25.32±0.93	12.77±0.77
治疗 4 周	15	24.50±0.96 <sup>ab</sup>	11.96±0.74 <sup>ab</sup>
B 组			
治疗前	14	25.06±1.27	12.70±0.92
治疗 4 周	14	23.63±1.10 <sup>a</sup>	11.28±0.76 <sup>a</sup>
C 组			
治疗前	15	24.70±1.34	13.05±0.85
治疗 4 周	15	23.85±1.30 <sup>a</sup>	12.20±0.86 <sup>ab</sup>

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与 B 组相同时间点比较,<sup>b</sup> $P<0.05$

### 二、治疗前、后各组患者上肢功能改善情况比较

治疗前 3 组患者上肢 FMA、MI 评分及 FTHUE-HK 分级组间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。经治疗 4 周后,发现 3 组患者上肢 FMA、MI 评分及 FTHUE-HK 分级均较治疗前显著改善(均 $P<0.05$ );进一步组间比较发现,B 组患者上肢 FMA 评分亦显著优于 A 组及 C 组,B 组 FTHUE-HK 分级亦显著优于 A 组,组间差异均具有统计学意义(均 $P<0.05$ )。具体数据见表 3。

表 3 治疗前、后各组患者上肢运动功能比较( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	上肢 FMA 评分 (分)	MI 评分 (分)	FTHUE-HK 分级(级)
A 组				
治疗前	15	23.13±8.06	34.93±15.42	2.73±0.70
治疗 4 周	15	30.40±10.17 <sup>ab</sup>	43.27±15.84 <sup>a</sup>	3.27±0.59 <sup>ab</sup>
B 组				
治疗前	14	24.14±8.33	35.14±15.98	2.71±0.61
治疗 4 周	14	39.93±6.41 <sup>a</sup>	53.50±12.46 <sup>a</sup>	3.86±0.66 <sup>a</sup>
C 组				
治疗前	15	22.27±9.01	33.73±15.40	2.60±0.63
治疗 4 周	15	33.87±6.85 <sup>ab</sup>	47.73±14.36 <sup>a</sup>	3.40±0.74 <sup>a</sup>

注:与组内治疗前比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与 B 组相同时间点比较,<sup>b</sup> $P<0.05$

## 讨 论

根据脑卒中患者恢复规律,其上肢功能显著恢复时期是发病后 3 个月内,之后患者受损功能自发性恢复的可能性显著降低,其运动功能改善不显著,这可能与脑病灶持续抑制状态、习得性废用、健侧脑抑制及患侧脑皮质兴奋性等因素有关<sup>[16]</sup>。但是发病 3~6 个月内脑卒中患者上肢功能仍有恢复潜能,临床应积极寻找有效治疗措施使患者功能恢复达到最大化。脑卒中

后运动功能恢复可通过存活的大脑皮质及形成新大脑功能结构的网状系统实现<sup>[17]</sup>。Kim 等<sup>[18]</sup>研究显示,对患侧 M1 区给予 10 Hz rTMS 可提高患侧 MEP 波幅,并使运动总反应时间减少,对慢性期脑卒中患者运动功能改善依然有效,而且该治疗安全有效。高频( $\geq 5$  Hz) rTMS 可促进神经通路重建<sup>[19]</sup>,并可以调控脑病灶周围神经递质及神经生长因子分泌<sup>[20]</sup>,进一步调节两侧大脑半球间经胼胝体抑制水平,这种效应即使在停止刺激后一段时间内仍对大脑运动皮质兴奋性产生易化效应<sup>[18]</sup>。但有研究表明,单纯 rTMS 如不联合功能相关的行为学训练,对偏瘫患者肢体功能恢复的影响有限<sup>[21]</sup>。MT 也是基于脑神经功能重塑理论,主张大脑受损后仍具有可塑性,可通过大量练习,重组神经路径,促进大脑活性,达到功能恢复目的<sup>[22]</sup>。Buccino 等<sup>[23]</sup>采用镜像疗法训练脑卒中后上肢瘫痪患者,让他们观察并在脑中模仿一些动作,促其神经系统功能恢复并增强对动作的控制及协调能力。为减少卒中中自然恢复因素对研究结果的影响,本课题统一选取卒中后 3~6 个月的患者,能进一步明确 rTMS 联合 MT 疗法对慢性期脑卒中患者上肢运动功能的改善作用。鉴于有研究显示,女性雌激素水平上升会造成运动皮质兴奋性降低,部分削弱高频 rTMS 对皮质神经元的兴奋作用<sup>[24]</sup>。为避免此干扰因素对结果的影响,本研究只选取了男性受试者。

本研究结果显示,治疗 4 周后 3 组患者 MEP 皮质潜伏期、CMCT、上肢 FMA、MI 评分及 FTHUE-HK 分级均较治疗前明显改善( $P < 0.05$ ),表明 3 种治疗方案均对脑卒中患者患侧大脑运动皮质兴奋性及偏瘫侧上肢运动功能具有积极改善作用。这是因为 MT 和 rTMS 均能有效激活大脑运动皮质<sup>[25-26]</sup>,纠正大脑两半球间病理性抑制模式<sup>[27-28]</sup>,并且激活镜像神经元系统<sup>[29-30]</sup>。其中 B 组患者治疗 4 周后其 MEP 皮质潜伏期和 CMCT 均优于同期 A 组( $P < 0.05$ ),而且 B 组 CMCT 还明显优于 C 组水平( $P < 0.05$ ); B 组上肢 FMA 评分较 A 组和 C 组均有统计学差异( $P < 0.05$ ),FTHUE-HK 分级亦明显优于 A 组( $P < 0.05$ )。以上数据说明 rTMS 干预后再辅以 MT 治疗方案最有利于提高患侧大脑运动皮质兴奋性。其可能机制是 10 Hz rTMS 能直接调控脑卒中受损皮质兴奋性,更有效促进偏瘫患者脑功能重建;而 MT 主要通过活化视觉皮质区,藉由视觉与躯体感觉冲突,活化与注意力有关的脑区,继而激活镜像神经元系统及主要运动皮质区,使异常的大脑半球间抑制趋向正常,以此达到患肢重新学习目的<sup>[31-32]</sup>。MT 对大脑功能重塑需经过较多的神经传导通路,涉及多个功能皮质区,慢性脑卒中患者由于脑组织损伤、运动模式异常和习

得性废用等对运动中枢系统的调节需要一定时间积累。另外 rTMS 干预后再辅以 MT 的治疗方案较 MT 干预后再辅以 rTMS 的治疗方案更有效,可能是因为患者在进行 MT 之前已通过 rTMS 直接兴奋与上肢靶肌群对应的运动皮质、镜像神经元系统及相关功能脑区。神经细胞间、功能脑区间都存在着广泛纤维联系,小脑-丘脑-皮质环路也参与构成大脑皮质可塑性的物质学与形态学基础<sup>[33]</sup>。这种可塑性改变能进一步促进神经系统结构或功能发生变化,且这种效应可维持一定时间。镜像神经元在感觉皮质、边缘系统、联合皮质、前额叶新皮质和中央运动前区等都有分布<sup>[34]</sup>,因此高频 rTMS 促使这些通路激活,能缩短 MT 调动镜像神经元时间,提高 MT 激活镜像神经元、重塑神经网络的效率。

综上所述,本研究结果表明,单纯 MT 或 10 Hz rTMS 联合 MT 治疗均有利于提高脑卒中慢性期患者大脑运动皮质兴奋性和上肢运动功能,其中以 rTMS 干预后再辅以 MT 的治疗方案对患肢运动功能恢复具有明显促进作用。需要指出的是,本研究仅观察了 rTMS 联合 MT 对慢性期脑卒中患者上肢运动功能恢复的短期疗效,而中、长期疗效仍有待进一步观察。

## 参 考 文 献

- [1] 杜深星,杜奋飞,包承东,等.镜像疗法联合强制性运动疗法对脑卒中后偏瘫患者上肢功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2016,38(1):43-45.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.01.009.
- [2] 苏敏,韩立影,杨卫新,等.经颅磁刺激在脑卒中患者上肢功能康复疗效评估中的应用[J].中华物理医学与康复杂志,2016,38(3):175-179.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.03.004.
- [3] Wang CP, Tsai PY, Yang TF, et al. Differential effect of conditioning sequences in coupling inhibitory/facilitatory repetitive transcranial magnetic stimulation for poststroke motor recovery[J]. CNS Neurosci Ther, 2014, 20(4):355-363. DOI:10.1111/cns.12221.
- [4] Tan T, Xie J, Tong Z, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation increases excitability of hippocampal CA1 pyramidal neurons[J]. Brain Res, 2013, 1520:23-35. DOI: 10.1016/j.brainres.2013.04.053.
- [5] Lee D, Lee G, Jeong J. The synergic effects of mirror therapy and neuromuscular electrical stimulation for hand function in stroke patients[J]. Technol Health Care, 2016, 24(4):503-511. DOI:10.5535/arm.2011.35.3.316.
- [6] Kim K, Lee S, Kim D, et al. Effects of mirror therapy combined with motor tasks on upper extremity function and activities daily living of stroke patients[J]. J Phys Ther Sci, 2016, 28(2):483-487. DOI: 10.1589/jpts.28.483.
- [7] 中华神经内科学会,中华神经外科学会.各类脑血管疾病的诊断要点[J].中华神经科杂志,1996,29(6):379-381.
- [8] Goh HT, Chan HY, Abdul-Latif L. Aftereffects of 2 noninvasive brain stimulation techniques on corticospinal excitability in persons with chronic stroke: a pilot study[J]. J Neurol Phys Ther, 2015, 39(1):15-

- 22.DOI:10.1097/NPT.0000000000000064.
- [9] Gomes-Osman J,Field-Fote EC.Improvements in hand function in adults with chronic tetraplegia following a multiday 10-Hz repetitive transcranial magnetic stimulation intervention combined with repetitive task practice [J].*J Neurol Phys Ther*,2015,39(1):23-30.DOI:10.1097/NPT.0000000000000062.
- [10] 魏海棠,杨璐,刘志霞,等.三级康复体系对脑卒中患者功能障碍恢复的影响[J].*中国康复*,2014,29(1):8-11.DOI:10.3870/zgkf.2014.01.002.
- [11] Vesia M,Bolton DA,Mochizuki G,et al.Human parietal and primary motor cortical interactions are selectively modulated during the transport and grip formation of goal-directed hand actions[J].*Neuropsychologia*,2013,51(3):410-417.DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.022.
- [12] 马玉娟,黄杰,方征宇,等.高频重复经颅磁刺激对脑梗死大鼠运动诱发电位皮质潜伏时和中枢运动传导时间的影响[J].*中国康复医学杂志*,2011,26(10):898-902.DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2011.10.002.
- [13] 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.DOI:10.1097/NPT.0000000000000023.
- [14] Sung WH,Wang CP,Chou CL,et al.Efficacy of coupling inhibitory and facilitatory repetitive transcranial magnetic stimulation to enhance motor recovery in hemiplegic stroke patients[J].*Stroke*,2013,44(5):1375-1382.DOI:10.1161/STROKEAHA.111.000522.
- [15] 刘小曼,毕胜,高小榕,等.基于运动想象的脑机交互康复训练新技术对脑卒中大脑可塑性影响[J].*中国康复医学杂志*,2013,28(2):97-102.DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.02.001.
- [16] Etoh S,Noma T,Ikeda K,et al.Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on repetitive facilitation exercises of the hemiplegic hand in chronic stroke patients[J].*J Rehabil Med*,2013,45(9):843-847.DOI:10.2340/16501977-1175.
- [17] Daligadu J,Murphy B,Brown J,et al.TMS stimulus-response asymmetry in left- and right-handed individuals[J].*Exp Brain Res*,2013,224(3):411-416.DOI:10.1007/s00221-012-3320-4.
- [18] Kim YH,You SH,Ko MH,et al.Repetitive transcranial magnetic stimulation-induced corticomotor excitability and associated motor skill acquisition in chronic stroke[J].*Stroke*,2006,37(6):1471-1476.
- [19] 黄国付,黄晓琳.电针结合重复经颅磁刺激对局灶性脑缺血大鼠蛋白激酶 A-环磷酸腺苷反应元件结合蛋白信号转导通路的影响[J].*中华物理医学与康复杂志*,2010,32(6):6405-6408.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.06.002.
- [20] 黄杰,马玉娟,方征宇,等.高频重复经颅磁刺激对脑梗死大鼠缺血半暗带超微结构及脑源性神经营养因子表达的影响[J].*中华物理医学与康复杂志*,2011,33(10):736-740.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.10.004.
- [21] Tyc F,Boyadjian A.Plasticity of motor cortex induced by coordination and training[J].*Clin Neurophysiol*,2011,122(1):153-162.DOI:10.1016/j.clinph.2010.05.022.
- [22] 邹智,张英,王珊珊,等.镜像治疗结合任务导向性训练对脑卒中患者上肢功能的影响[J].*中华物理医学与康复杂志*,2011,33(9):693-696.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.09.016.
- [23] Buccino G,Solodkin A,Small SL.Functions of the mirror neuron system: implications for neurorehabilitation [J].*Cogn Behav Neurol*,2006,19(1):55-63.
- [24] Inghilleri M,Conte A,Currù A,et al.Ovarian hormones and cortical excitability.An rTMS study in humans [J].*Clin Neurophysiol*,2004,115:1063-1068.
- [25] Deconinck FJ,Smorenburg AR,Benham A,et al.Reflections on mirror therapy;a systematic review of the effect of mirror visual feedback on the brain [J].*Neurorehabil Neural Repair*,2015,29(4):349-361.DOI:10.1177/1545968314546134.
- [26] Lee JH,Kim SB,Lee KW,et al.Factors associated with upper extremity motor recovery after repetitive transcranial magnetic stimulation in stroke patients [J].*Ann Rehabil Med*,2015,39(2):268-276.DOI:10.5535/arm.2015.39.2.268.
- [27] Small SL,Buccino G,Solodkin A.Brain repair after stroke-a novel neurological model [J].*Nat Rev Neurol*,2013,9(12):698-707.DOI:10.1038/nrneurol.2013.222.
- [28] Kim C,Choi HE,Jung H,et al.Comparison of the effects of 1 Hz and 20 Hz rTMS on motor recovery in subacute stroke patients [J].*Ann Rehabil Med*,2014,38(5):585-591.DOI:10.5535/arm.2014.38.5.585.
- [29] Wu CY,Huang PC,Chen YT,et al.Effects of mirror therapy on motor and sensory recovery in chronic stroke:A randomized controlled trial [J].*Arch Phys Med Rehabil*,2013,94(6):1023-1030.DOI:10.1016/j.apmr.2013.02.007.
- [30] D'Agata F,Peila E,Cicerale A,et al.Cognitive and neurophysiological effects of non-invasive brain stimulation in stroke patients after motor rehabilitation [J].*Front Behav Neurosci*,2016,24(10):135.DOI:10.3389/fnbeh.2016.00135.
- [31] Pérez-Cruzado D,Merchún-Baeza JA,González-Sánchez M,et al.Systematic review of mirror therapy compared with conventional rehabilitation in upper extremity function in stroke survivors [J].*Aust Occup Ther J*,2017,64(2):91-112.DOI:10.1111/1440-1630.12342.
- [32] Saleh S,Adamovich SV,Tunik E.Mirrored feedback in chronic stroke: recruitment and effective connectivity of ipsilesional sensorimotor networks [J].*Neurorehabil Neural Repair*,2014,28(4):344-354.DOI:10.1177/1545968313513074.
- [33] Mawase F,Bar-Haim S,Shmuelof L.Formation of long-term locomotor memories is associated with functional connectivity changes in the cerebellar-thalamic-cortical network [J].*J Neurosci*,2017,37(2):349-361.DOI:10.1523/JNEUROSCI.2733-16.2017.
- [34] Behmer LP Jr,Fournier LR.Mirror neuron activation as a function of explicit learning: changes in mu-event-related power after learning novel responses to ideomotor compatible, partially compatible, and non-compatible stimuli [J].*Eur J Neurosci*,2016,44(10):2774-2785.DOI:10.1111/ejn.13389.

(修回日期:2017-11-13)

(本文编辑:易浩)