

重复外周磁刺激联合重复经颅磁刺激对脑卒中后上肢功能障碍的影响

蔡倩¹ 徐亮¹ 孙武东¹ 马明^{1,2} 孙悦¹

¹东南大学附属中大医院康复医学科, 南京 210009; ²东南大学附属中大医院全科住院医师规范化培训重点专业基地, 南京 210009

通信作者: 马明, Email: nj9868@163.com

【摘要】 目的 观察重复外周磁刺激(rPMS)联合重复经颅磁刺激(rTMS)对脑卒中后上肢功能障碍的影响。方法 选取符合入选和排除标准脑卒中患者 128 例,按随机数字表法分对照组、中枢组、外周组和联合组,每组 32 例。4 组患者均进行常规药物治疗和康复训练,联合组增加非受累侧 M1 区低频 rTMS 和患侧上肢 Erb 点的 rPMS 治疗,中枢组增加低频 rTMS 和安慰性 rPMS,外周组增加 rPMS 治疗和安慰性 rTMS,对照组给予安慰性 rTMS 和安慰性 rPMS。rPMS 和低频 rTMS 治疗均为每日 1 次,每次 15 min,每周治疗 6 d,连续治疗 4 周。治疗前和治疗 4 周后(治疗后),采用 Fugl-Meyer 评定量表上肢部分(FMA-UE)和 Wolf 运动功能测试(WMFT)评定 4 组患者患侧上肢运动功能,同时采用改良 Barthel 指数(MBI)评定其日常生活活动能力。结果 治疗后,4 组患者的 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分较组内治疗前均明显改善,差异均有统计学意义($P<0.05$)。联合组、中枢和外周组患者治疗后的 FMA-UE 评分[分别为(37.10±1.99)分、(28.10±3.15)分、(28.21±2.96)分]、WMFT 评分[分别为(34.90±2.81)分、(26.87±2.79)分、(26.72±2.63)分]和 MBI 评分[分别为(69.55±3.67)分、(59.07±3.45)分、(58.90±3.79)分]均优于对照组治疗后($P<0.05$),且联合组的 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分均显著优于中枢组和外周组治疗后,差异均具有统计学意义($P<0.05$)。结论 rTMS 和 rPMS 均可改善脑卒中后上肢功能障碍患者患侧上肢的运动功能和日常生活活动能力,且两种刺激方式联合使用的疗效可能更佳。

【关键词】 重复经颅磁刺激; 重复外周磁刺激; 脑卒中; 上肢功能

基金项目:东南大学附属中大医院全科住院医师规范化培训重点专业基地开放课题(ZDZYJD-QK-2022-15);南京市体育局体育科研局管课题资助项目(NJTY2023-102)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.05.005

The effects of combining repetitive peripheral magnetic stimulation with repetitive transcranial magnetic stimulation in treating upper limb dysfunction after a stroke

Cai Qian¹, Xu Liang¹, Sun Wudong¹, Ma Ming^{1,2}, Sun Yue¹

¹Department of Rehabilitation Medicine, The Affiliated Zhongda Hospital of Southeast University, Nanjing 210009, China; ²The key professional base of standardized training of general practice resident doctors in Zhongda Hospital Affiliated to Southeast University, Nanjing 210009, China

Corresponding author: Ma Ming, Email: nj9868@163.com

【Abstract】 Objective To observe any effect of combining repetitive peripheral magnetic stimulation (rPMS) with repeated transcranial magnetic stimulation (rTMS) on upper limb dysfunction after a stroke. **Methods** A total of 128 stroke survivors were randomly divided into a control group, a central group, a peripheral group and a combined group, each of 32. In addition to conventional medical treatment and rehabilitation training, the combined group were given 1Hz rTMS over the M1 area of the unaffected hemisphere and rPMS on the Erb point of the affected upper limb. The central group were given rTMS with sham rPMS, the peripheral group was given rPMS and sham rTMS, while the control group received sham rTMS and sham rPMS. Both the rPMS and rTMS, genuine and sham, were administered once daily for 15 minutes each time, 6 days a week for 4 consecutive weeks. Before and after the treatment, the Fugl-Meyer upper extremity assessment (FMA-UE) and the Wolf motor function test (WMFT) were administered to evaluate the upper limb motor function of the subjects' affected side. The Modified Barthel index (MBI) quantified their ability in the activities of daily life. **Results** After the intervention, the average FMA-UE, WMFT and MBI scores had improved significantly in all four groups. After the intervention the average FMA-UE, WMFT and MBI scores of the combined, central and peripheral groups were all significantly better than the control group's averages, with those of the combined group significantly superior to the central and peripheral groups. **Conclusion** Both rTMS and rPMS

can promote the recovery of upper limb motor function after a stroke and ability in daily life activities. Their combination can achieve better effects.

[Key words] Transcranial magnetic stimulation; Peripheral magnetic stimulation; Magnetic stimulation; Stroke; Upper limb function

Funding: The Key Professional Base of Standardized Training of General Practice Resident Doctors in Zhongda Hospital (ZDZYJD-QK-2022-15); Nanjing Sports Bureau (NJTY2023-102)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.05.005

脑卒中是一种严重的脑血管疾病,具有较高的致残率,在发病 6 个月后仍有超过 65% 的患者存在不同程度的上肢和手功能障碍^[1-2],且恢复进程缓慢,给患者的家庭和社会造成严重负担^[3]。目前,传统的康复治疗方法对上肢功能障碍的疗效有限^[2],因此亟需寻找可进一步促进脑卒中后上肢功能障碍恢复的新的治疗手段。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)是一种新兴的、非侵入性的神经调控技术,可调节大脑皮质的兴奋性,促进脑卒中后肢体运动、言语和认知等功能的恢复^[4]。重复外周磁刺激(repetitive peripheral magnetic stimulation, rPMS)是通过给予脑以外的组织重复的、高频的、高强度的磁场以兴奋外周神经或肌肉的一种刺激模式^[5]。近来的研究发现,rPMS 亦可改善偏瘫患者的上肢运动功能^[6],但鲜见将 rTMS 联合 rPMS 应用于脑卒中后上肢功能障碍的研究。

本研究采用 rTMS 联合 rPMS 对脑卒中后上肢功能障碍患者进行了干预,旨在比较两种磁刺激方式联合使用与单一刺激方式的疗效差异,为脑卒中后上肢功能障碍的治疗提供更多的参考和借鉴。

资料与方法

一、研究对象

纳入标准:①符合 2015 年中国脑血管疾病分类中脑卒中的诊断准则^[7],经影像学检查(头颅 MRI 或 CT)确诊为脑出血或脑梗死;②年龄 18~75 岁,病程 1~6 个月;③初次发病,单侧肢体瘫痪,患侧上肢 Brunnstrom 分期^[8] II~IV 期;④病情稳定,简明精神状态检查量表评分^[8] >24 分;⑤患者或家属均签署知情同意书。

排除标准:①既往有脑器质性疾病、严重心肺系统疾病病史、患侧肢体严重感觉障碍、认知障碍、精神障碍等不能配合治疗者;②既往有癫痫发作史,或家族癫痫

史者;③患侧上肢和手部各肌群改良的 Ashworth 评分^[8] ≥3 级;④治疗部位有金属植入物、人工耳蜗植入、心脏起搏器等;⑤患侧上肢存在骨折、严重疼痛者;⑥对经颅磁刺激治疗恐惧、不耐受者。

剔除标准:由于其他原因中途退出或未完成治疗者。

本研究已通过东南大学附属中大医院伦理委员会审核批准(批准文号:2021ZDSYLL271-P01)。选取 2021 年 11 月至 2022 年 9 月在东南大学附属中大医院康复医学科住院且符合上述标准的脑卒中后上肢功能障碍患者 128 例,采用随机数字表法将其分为对照组、中枢组、外周组和联合组,每组患者 32 例。实验过程中共有 11 例患者脱落,其中因住院周期和治疗费用退出者 7 例(中枢组 2 例,外周组 2 例,联合组 3 例),因病情变化退出者 4 例(对照组 3 例,外周组 1 例),最终完成本研究的对照组 29 例,中枢组 30 例,外周组 29 例,联合组 29 例。4 组患者的例数、性别、平均年龄、平均病程、偏瘫侧别、病变性质等一般资料组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

4 组患者均接受常规药物治疗和常规康复训练,中枢组在此基础上增加健侧半球低频 rTMS 和安慰性 rPMS,外周组增加患侧上肢 rPMS 和安慰性 rTMS,联合组同时增加健侧半球低频 rTMS 和患侧上肢 rPMS,对照组则均为安慰性磁刺激治疗。

(一)常规药物治疗

包括降压调脂、稳定血糖、营养神经、脑保护等。

(二)常规康复训练

包括物理治疗和作业治疗,具体包括患侧肢体被动活动、翻身和转移训练、坐站平衡训练、肌力训练、躯干控制训练、步行训练、上肢任务导向性训练和日常生活活动能力训练等。以上常规康复训练每日共 60 min,每日 2 次,每周训练 6 d,连续训练 4 周。

表 1 3 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (d, $\bar{x}\pm s$)	偏瘫侧别(例)		病变性质(例)	
		男	女			左侧	右侧	脑出血	脑梗死
对照组	29	22	7	53.31±13.07	111.45±43.26	13	16	10	19
中枢组	30	23	7	50.37±12.82	119.63±41.96	12	18	9	21
外周组	29	21	8	50.21±12.98	106.76±31.63	10	19	8	21
联合组	29	23	6	54.66±13.14	113.83±34.63	12	17	11	18

(三) 低频 rTMS 和 rPMS 干预方法

1. 静息运动阈值的测定: 本研究采用河南产 YD-MT500 型磁刺激治疗仪。患者坐于有靠背的躺椅上, 嘱其全身放松, 双上肢置于体侧, 正确佩戴定位帽, 将表面电极贴于健手拇短展肌处, 地线电极置于腕关节处。选择“8”字形线圈, 给予健侧半球 M1 区(手运动皮质代表区) 70% 最大输出强度的单脉冲刺激, 以定位帽上的目标位置为参考, 在其周围缓慢移动线圈中心点位置, 寻找可以诱发出对侧拇短展肌最大运动诱发电位波幅的位置, 确定该点为皮质刺激热点, 并用马克笔在定位帽上做标记, 然后刺激强度每次递减 2%, 直至连续 10 次刺激中至少有 5 次运动诱发电位波幅 $>50 \mu\text{V}$ 的最小刺激强度, 即为静息运动阈值。

2. 低频 rTMS 和 rPMS 刺激方法(联合组): 首先给予患者低频 rTMS, 患者取舒适仰卧位, 佩戴定位帽和防噪耳塞, 将“8”字形线圈的中心点置于皮质刺激热点处, 并与颅骨表面相切, 手柄朝向对侧额叶呈 45° , 刺激频率为 1 Hz, 刺激强度为 90% 静息运动阈值; 每个序列 8 个脉冲, 序列间间隔 3 s, 重复 82 个序列, 刺激时间为 15 min, 共 656 个脉冲^[9]。治疗结束后立即给予 rPMS, 将“8”字形刺激线圈中心点紧贴于患侧上肢 Erb 点处(即锁骨上 2~3 cm, 约在胸锁乳突肌后一横指)以刺激臂丛神经^[6], 治疗时嘱患者头向对侧偏斜, 刺激频率 20 Hz, 刺激强度依据患者的耐受情况进行调节, 以引起前臂或手部肌肉明显收缩为宜, 范围为 25%~50% 最大输出强度; 每个序列 40 个脉冲, 重复 75 个序列, 序列间隔时间为 10 s, 脉冲总数 3000 个, 刺激时间 15 min。低频 rTMS 和 rPMS 刺激均每日 1 次, 每周刺激 6 d, 连续刺激 4 周^[10]。

中枢组、外周组和对照组均接受与联合组相同刺激参数的低频 rTMS 和 rPMS 刺激治疗, 中枢组患侧上肢进行 rPMS 治疗时, 将线圈竖起垂直于锁骨放置; 外周组进行低频 rTMS 治疗时, 线圈垂直于颅骨表面放置; 对照组在磁刺激治疗过程中, 线圈均垂直放置, 所有安慰刺激时仪器均保持正常输出, 发出治疗噪声。

三、疗效评价标准

治疗前和治疗 4 周后(治疗后)采用 Fugl-Meyer 评定量表上肢部分(Fugl-Meyer assessment-upper extremity, FMA-UE)和 Wolf 运动功能测试(Wolf motor function test, WMFT)评定 4 组患者患侧的上肢运动功能, 同时采用改良 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI)评定其日常生活活动能力。所有评估均由一名临床经验丰富的高年资治疗师于双盲状态下完成。

1. FMA-UE 评分: 该量表常用于评估脑卒中患者的肢体功能, 具有良好的信度和效度。评估内容包括运动、反射、协调能力与速度等 9 大项, 33 个小

项, 分为 3 级(0~2 分), 最高 66 分。得分越高则上肢运动功能越好^[11]。

2. WMFT 评分: 共包括 15 个项目, 其中 1~6 项为简单关节活动, 7~15 项为复合的功能性活动, 动作质量分为 6 个等级(0、1、2、3、4、5), 总分 75 分, 评分越高则上肢功能越好^[11]。

3. MBI 评分: 该量表主要用于评估患者的日常生活活动能力, 包括大小便控制、穿衣、吃饭、转移、修饰等 10 项内容, 共 100 分, 得分越高则患者的日常生活活动能力越好^[12]。

四、统计学分析

采用 SPSS 23.0 版统计学软件对本研究所得数据进行分析。所有数据在分析前均经正态分布检验和方差齐性检验, 符合正态分布的计量资料用 $(\bar{x} \pm s)$ 表示, 组内治疗前、后比较采用配对 t 检验, 组间比较采用单因素方差分析, 如有显著性差异, 使用最小显著性差异法- t (least significant difference- t , LSD- t) 检验进行多重比较。计数资料以频数表示, 采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

治疗前, 4 组患者的 FMA-UE 评分、WMFT 评分和 MBI 评分组间比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。治疗后, 4 组患者的 FMA-UE、WMFT 评分和 MBI 评分较组内治疗前均显著提高, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 联合组、中枢组和外周组治疗后的 FMA-UE、WMFT 评分和 MBI 评分均显著优于对照组治疗后, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 且联合组治疗后的 FMA-UE、WMFT 评分和 MBI 评分均显著优于中枢组和外周组治疗后, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 中枢组治疗后的 FMA-UE、WMFT 评分和 MBI 评分与外周组治疗后比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 详见表 2。

表 2 3 组患者治疗前、后 FMA-UE 评分、WMFT 评分和 MBI 评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	例数	FMA-UE 评分	WMFT 评分	MBI 评分
对照组				
治疗前	29	20.76±2.80	19.24±2.81	30.45±2.95
治疗后	29	24.03±2.68 ^a	23.86±2.28 ^a	45.00±4.00 ^a
中枢组				
治疗前	30	20.93±2.90	19.60±2.99	31.17±2.98
治疗后	30	28.10±3.15 ^{ab}	26.87±2.79 ^{ab}	59.07±3.45 ^{ab}
外周组				
治疗前	29	20.55±3.31	19.59±2.89	30.17±3.41
治疗后	29	28.21±2.96 ^{ab}	26.72±2.63 ^{ab}	58.90±3.79 ^{ab}
联合组				
治疗前	29	21.34±2.79	19.31±3.04	30.93±2.76
治疗后	29	37.10±1.99 ^{abcd}	34.90±2.81 ^{abcd}	69.55±3.67 ^{abcd}

注: 与组内治疗前比较, ^a $P < 0.05$; 与对照组治疗后比较, ^b $P < 0.05$; 与中枢组治疗后比较, ^c $P < 0.05$; 与外周组治疗后比较, ^d $P < 0.05$

讨 论

本研究结果显示,经过治疗 4 周后,联合组、中枢组和外周组患者的 FMA-UE、WMFT 和 MBI 评分较组内治疗前均明显提高,且优于对照组治疗 4 周后,差异均有统计学意义($P < 0.05$),其中以联合组治疗后的 FMA-UE、WMFT 和 MBI 评分改善情况最为显著。该结果提示,低频 rTMS 和 rPMS 均可改善脑卒中后上肢功能障碍患者的上肢功能和日常生活活动能力,且将低频 rTMS 与 rPMS 联合使用疗效更佳。

上肢和手主要从事与日常生活相关的精细活动,在大脑运动皮质代表区所占面积较大,脑损伤后功能障碍的程度也较下肢更重,对患者的生活质量和社会参与造成严重影响。传统的神经发育学疗法的靶器官主要是外周肢体,其对中枢功能的改善虽然有效但作用缓慢,依赖于大量重复的肢体训练,且疗效难以持久。

rTMS 主要通过脉冲磁场在颅内产生感应电流,从而影响脑内代谢和神经电活动。低频 rTMS 作用于健侧半球可抑制皮质兴奋性,高频 rTMS 作用患侧半球可提高皮质兴奋性^[13]。脑卒中后两半球间胼胝体抑制平衡被打破,患侧半球由于脑组织受损导致兴奋性下降,健侧半球对患侧半球的不对称抑制增加^[14-15]。本研究将 1 Hz 的 rTMS 作用于健侧大脑 M1 区,可降低患者的皮质兴奋性,减轻对患侧半球的过度抑制,使半球间抑制功能重新恢复平衡,从而有利于患侧肢体功能的恢复^[16-17]。目前,临床上建议使用低频 rTMS,主要是由于大部分患者患侧半球很难引出运动诱发电位,无法确定刺激热点;而且低频刺激的疗效更确切、安全性高,且患者耐受性也更好^[18-20]。殷稚飞等^[9]将脑梗死患者 30 例按随机数字表法随机分为 3 组,分别给予健侧半球 M1 区不同频率(0.5 Hz、1 Hz、2 Hz)的 rTMS 治疗,结果显示,0.5 Hz 和 1 Hz 的 rTMS 均可以提高患侧半球运动皮质兴奋性,促进患侧上肢功能的恢复,且以 0.5 Hz 的 rTMS 治疗效果最佳。

目前,rPMS 在脑卒中方面的研究主要集中在降低痉挛、改善吞咽功能和肩关节半脱位等方面^[21-23]。本研究利用 rPMS 刺激 Erb 点,主要是由于在该处臂丛神经的分支较集中,且距离皮肤位置表浅,更易兴奋,是刺激臂丛神经的最佳靶点。rPMS 作用于外周肢体的神经或肌肉组织可通过两种途径增强对中枢神经系统的本体感觉输入,一种是直接兴奋感觉运动神经纤维,另一种是通过刺激过程中产生的肌肉收缩和放松间接激活机械感受器^[24]。rPMS 诱导的大量本体感觉输入,可影响脊髓、脑网络和皮质脊髓束的兴奋性^[25],缓解脑卒中后的上肢痉挛,进而提高患侧上肢运动功能。马明等^[26]的研究发现,rPMS 可降低脑卒中患者

上肢屈肘肌痉挛,提高患侧上肢 FMA 评分及 MBI 评分。有研究将 rPMS 作用于脑卒中患侧上肢 Erb 点以刺激臂丛神经,结果显示,连续治疗 2 周后,患者患侧的上肢功能明显改善^[6]。本研究与上述实验结果基本一致,但未对患者的痉挛程度进行评估,这将在以后的实验中加以完善。对于脑内有金属植入物、癫痫病史和对经颅磁刺激恐惧等不适合使用 rTMS 的患者,rPMS 可能是一种安全,潜在的治疗手段^[26]。

“中枢-外周-中枢”闭环康复理论强调中枢和外周协同干预,是脑卒中后肢体功能康复的新模式^[27]。本研究尝试将 rTMS 和 rPMS 联合使用,治疗后联合组患者的 FMA-UE、WMFT 和 MBI 评分不仅优于组内治疗前,还显著优于对照组、中枢组和外周组治疗后,该结果表明,两种磁刺激方式同时使用,比对单一靶区进行刺激的疗效更为显著。其作用机制可能是:首先,低频 rTMS 作用于健侧 M1 区,可纠正半球间的病理性抑制模式,为脑可塑性的变化创造适宜的环境^[28];其次,高频 rPMS 则通过刺激目标靶区募集外周势能,可强化本体感觉输入,上调其支配脑区的皮质兴奋性^[29],促进脑功能重组,提高运动控制^[30]。研究表明,rTMS 和 rPMS 均可调节大脑皮质兴奋性,两者联合干预可产生协同作用,提高脑卒中患者上肢运动功能恢复的效率^[31-32]。实现脑-肢共同干预通常需要使用两种不同种类的康复技术,但本研究仅利用磁刺激这一种治疗技术就实现了中枢和外周的双重干预,与已往其他的联合方式比较,操作更简单,省力,且整个治疗过程无痛无创,副作用少。

综上所述,低频 rTMS 和 rPMS 均可改善脑卒中后上肢功能障碍患者的上肢运动功能和日常生活活动能力,且两种磁刺激方式联合应用的疗效更佳,该治疗方案值得在临床上推广使用。本研究尚存在一些不足,如纳入样本量较少,仅观察此种治疗方式的短期疗效,其中长期疗效尚待进一步研究;疗效评价工具为功能量表,仅可反映出肢体功能的变化,无法对治疗前、后脑皮质兴奋性变化进行评估。未来本课题组将增加样本量,完善实验设计,并利用脑电图、功能磁共振等技术对此联合疗法的作用机制进行更深入的研究。

参 考 文 献

- [1] Hoyer EH, Celnik PA. Understanding and enhancing motor recovery after stroke using transcranial magnetic stimulation[J]. Restor Neurol Neurosci, 2011, 29(6):395-409. DOI:10.3233/RNN-2011-0611.
- [2] Koganemaru S, Mima T, Thabit MN, et al. Recovery of upper-limb function due to enhanced use-dependent plasticity in chronic stroke patients[J]. Brain, 2010, 133(11):3373-3384. DOI:10.1093/brain/awq193.
- [3] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management [J]. Lancet Neurol,

- 2019, 18(4):394-405. DOI:10.1016/S1474-4422(18)30500-3.
- [4] 李响,张洪蕊,曹海杰,等.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[J].中华物理医学与康复杂志,2024,46(2):123-128.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.02.005.
- [5] 张志远,黄路,张江春,等.重复外周磁刺激在神经康复中的应用参数和作用机制的研究进展[J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(10):942-947. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.10.017.
- [6] 孟莹,张春华,王海霞,等.中枢间歇 Theta 节律刺激联合外周磁刺激对脑卒中患者上肢运动功能障碍的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(8):702-706. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.08.006.
- [7] 吴江,杨弋,饶明俐.中国脑血管疾病分类 2015[J].中华神经科杂志,2017,50(3):168-171. DOI:10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2017.03.003.
- [8] 王玉龙.康复功能评定学[M].北京:人民卫生出版社,2008:162-164.
- [9] 殷稚飞,沈滢,孟殿怀,等.不同频率低频重复经颅磁刺激对脑梗死患者上肢功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2014,36(8):596-601. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.08.006.
- [10] Struppler A, Binkofski F, Angerer B, et al. A fronto-parietal network is mediating improvement of motor function related to repetitive peripheral magnetic stimulation: a PET-H2O15 study[J]. Neuroimage, 2007, 36(S2):t174-t186. DOI:10.1016/j.neuroimage.2007.03.033.
- [11] 寇程,刘小燮,毕胜.四种上肢功能评定量表用于脑卒中患者的信度研究[J].中华物理医学与康复杂志,2013,35(4):269-272. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2013.04.007.
- [12] 谢文霞,叶伟,程芳芳,等.低频重复经颅磁刺激联合针刺治疗对脑卒中后上肢运动功能障碍患者的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(10):888-892. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.10.005.
- [13] Corti M, Patten C, Triggs WJ, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of motor cortex after stroke: a focused review[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2012, 91(3):254-270. DOI:10.1097/phm.0b013e318228bf0c.
- [14] Butler AJ, Wolf SL. Putting the brain on the map: use of transcranial magnetic stimulation to assess and induce cortical plasticity of upper-extremity movement[J]. Phys Ther, 2007, 87(6):719-736. DOI:10.2522/ptj.20060274.
- [15] Lefaucheur JP. Stroke recovery can be enhanced by using repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) [J]. Neurophysiol Clin, 2006, 36(3):105-115. DOI:10.1016/j.neucli.2006.08.011.
- [16] 李泽文,郭琛琛,刘丽,等.低频重复经颅磁刺激联合虚拟情景互动训练对脑卒中后上肢运动功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(5):397-401. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.05.003.
- [17] 居磊磊,许光旭,孟兆祥,等.重复经颅磁刺激诱导下运动想象疗法对脑卒中患者上肢运动功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2022,44(7):599-603. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.005.
- [18] Lefaucheur JP, Aleman A, Baeken C, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): an update (2014-2018) [J]. Clin Neurophysiol, 2020, 131(2):474-528. DOI:10.1016/j.clinph.2020.02.003.
- [19] 殷稚飞,沈滢,戴文骏,等.低频重复经颅磁刺激在脑卒中后上肢运动功能康复中的研究和应用[J].中华物理医学与康复杂志,2014,36(6):486-489. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.06.027.
- [20] 孙甜,巩尊科,周婷,等.急性期介入低频重复经颅磁刺激对缺血性脑卒中患者上肢运动功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2024,46(3):216-220. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2024.03.005.
- [21] Momosaki R, Abo M, Watanabe S, et al. Functional magnetic stimulation using a parabolic coil for dysphagia after stroke[J]. Neuromodulation, 2014, 17(7):637-641. DOI:10.1111/ner.12137.
- [22] Jiang YF, Zhang D, Zhang J, et al. A randomized controlled trial of repetitive peripheral magnetic stimulation applied in early subacute stroke: effects on severe upper-limb impairment [J]. Clin Rehabil, 2022, 36(5):693-702. DOI:10.1177/02692155211072189.
- [23] Yang C, Chen P, Du W, et al. Musculoskeletal ultrasonography assessment of functional magnetic stimulation on the effect of glenohumeral subluxation in acute poststroke hemiplegic patients[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018(9):1-9. DOI:10.1155/2018/6085961.
- [24] Struppler A, Angerer B, Gündisch C, et al. Modulatory effect of repetitive peripheral magnetic stimulation on skeletal muscle tone in healthy subjects: stabilization of the elbow joint[J]. Exp Brain Res, 2004, 157(1):59-66. DOI:10.1007/s00221-003-1817-6.
- [25] Sato A, Torii T, Iwahashi M, et al. Alterations in motor cortical excitability induced by peripheral stimulation with magnetic stimulation [J]. IEEE Trans Magn, 2018, 54(11):1-4. DOI:10.1109/TMAG.2018.2851358.
- [26] 马明,蔡倩,徐亮,等.重复性外周神经磁刺激对脑卒中患者上肢屈肘肌痉挛的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2017,39(2):127-130. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2017.02.011.
- [27] 王传凯,王鹤玮,贾杰.经颅直流电刺激的康复闭环治疗模式在脑卒中上肢功能康复中的应用进展[J].中华物理医学与康复杂志,2023,45(9):850-855. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.09.019.
- [28] Conchou F, Loubinoux I, Castel-Lacanal E, et al. Neural substrates of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation during movement in healthy subjects and acute stroke patients. A PET study [J]. Hum Brain Mapp, 2009, 30(8):2542-2557. DOI:10.1002/hbm.20690.
- [29] Sakai K, Yasufuku Y, Kamo T, et al. Repetitive peripheral magnetic stimulation for patients after stroke [J]. Stroke, 2020, 51(6):e105-e106. DOI:10.1161/STROKEAHA.120.029373.
- [30] Beaulieu LD, Schneider C. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on normal or impaired motor control [J]. Neurophysiol Clin, 2013, 43(4):251-260. DOI:10.1016/j.neucli.2013.05.003.
- [31] 张英,廖维靖,邹凡,等.功能性电刺激循环运动联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中恢复后期患者上肢功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(2):127-130. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.02.005.
- [32] Liang S, Wang W, Yu F, et al. Repetitive peripheral magnetic stimulation combined with transcranial magnetic stimulation in rehabilitation of upper extremity hemiparesis following stroke: a pilot study [J]. J Rehabil Med, 2024, 56:19449. DOI:10.2340/jrm.v56.19449.

(修回日期:2024-03-18)

(本文编辑:阮仕衡)