

## 综 述

DOI:10.11724/jdmu.2021.02.10

## 重复经颅磁刺激改善脑卒中所致肢体功能障碍的临床研究现状

王日旺<sup>1</sup>, 彭嘉慧<sup>1</sup>, 张志远<sup>1</sup>, 王天祺<sup>1</sup>, 闫薪羽<sup>1</sup>, 冯 滢<sup>1</sup>, 刘忠良<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 护理学院, 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学第二医院 康复医学科, 吉林 长春 130041)

**[摘要]** 重复经颅磁刺激(rTMS)可通过诱导产生动作电位和改变大脑双侧半球兴奋性来解除大脑交互抑制,以此改善卒中后肢体运动功能障碍。rTMS不但能提高整体肢体功能,而且对局部肌肉有缓解痉挛、降低拮抗的作用,同时可增大关节活动度。此外,rTMS对人体的负面影响较小,值得推广,但应注意其热效应对神经系统的诱导作用。本文就rTMS治疗脑卒中后肢体功能障碍的临床研究现状进行综述。

**[关键词]** 重复经颅磁刺激;脑卒中;偏瘫;肢体运动功能障碍;康复治疗

**[中图分类号]** R493 **[文献标志码]** A **文章编号:**1671-7295(2021)02-0149-06

## Research progress on the improvement of stroke-related limb dysfunction by repetitive transcranial magnetic stimulation

WANG Riwang<sup>1</sup>, PENG Jiahui<sup>1</sup>, ZHANG Zhiyuan<sup>1</sup>, WANG Tianqi<sup>1</sup>, YAN Xinyu<sup>1</sup>,  
FENG Ying<sup>1</sup>, LIU Zhongliang<sup>2</sup>

(1. School of Nursing, Jilin University, Changchun 130021, China; 2. Department of Rehabilitation Medicine, the Second Hospital of Jilin University, Changchun 130041, China)

**[Abstract]** Repeated transcranial magnetic stimulation (rTMS) can alleviate the inhibition of brain interaction by inducing action potential generation and changing the excitability of the bilateral brain hemispheres, thus ameliorating the limb motor dysfunction after stroke. It can not only improve the overall limb function, but also relieve the spasm and antagonism of local muscles and increase the range of motion of joints. In addition, since rTMS has few negative effects on human bodies, it is worth promoting; however attention should still be paid to its thermal effect and induction effect on nervous system. This article reviews the clinical research status of rTMS in the treatment of limb dysfunction after stroke.

**[Keywords]** repeated transcranial magnetic stimulation; stroke; hemiplegia; limb motor dysfunction; rehabilitation treatment

随着社会老龄化的到来,脑卒中的发病率逐年上升,致残致死率极高,尤其是所致的肢体功能障碍,有一半以上患者的生活质量因此受到严重影响<sup>[1]</sup>。据统计,每年约有250万新患病例和100万因卒中直接或间接导致的死亡病例<sup>[2]</sup>。目前针对卒中患者运动功能障碍的康复治疗,缺少极为有效的方案。国内外大量研究证实重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)治疗作为一种促进大脑功能可塑性的治疗新技

术,应用于脑卒中治疗后获得了较好的疗效。本文对rTMS在脑卒中肢体功能障碍方面的临床研究现状进行综述。

### 1 rTMS的作用原理和生物学效应

rTMS是在特定的大脑皮质局部放置线圈,当线圈通电会产生垂直于线圈方向的局部磁场,无衰减地透过大脑皮层和颅骨,直达深部并产生感应电场,从而促进或抑制大脑内的生物电活动。给予患

基金项目:吉林省财政厅省直卫生专项基金项目(3D518S603429);吉林大学和省残联横向基金项目(3R218FR23429)

第一作者简介:王日旺(1999-),男,本科生。E-mail:57306450@qq.com

通信作者:刘忠良,教授。E-mail:lzl@163.com

者头部重复、连续、有规律的 rTMS 脉冲刺激,可诱导皮层中间神经元产生感生电流,导致脊髓前角运动神经元去极化且产生诱发电位,冲动沿轴突下行至其支配的肌肉,使之出现收缩动作,从而达到被动训练治疗目的<sup>[3]</sup>。与其它经颅磁刺激技术不同,在神经元不应期中 rTMS 也具有刺激作用,可兴奋更多相邻细胞,产生兴奋性神经突触后的电位总和导致大脑皮层间的兴奋抑制失衡<sup>[4]</sup>。其次,rTMS 一般分为低频与高频,高频( $>1$  Hz)的作用是兴奋,低频( $\leq 1$  Hz)的作用是抑制。临床常采用的刺激频率为 1~20 Hz。目前,rTMS 对脑卒中后运动功能障碍的作用机制仍不完全明确,但被证实有以下两点。

### 1.1 刺激皮层部位导致运动诱发电位的产生

对头部运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)进行检测可做出直观的判断。rTMS 刺激单侧大脑半球运动皮质,对侧肢体部位产生相应的肢体运动和 MEP,通过观察测量 MEP 的波形、振幅以及潜伏时间,可判断锥体束传导通路的完整性及运动皮质的兴奋度。利用此原理可对大脑皮层进行磁刺激,产生兴奋皮层的作用,同时还可作为检测手段来评价锥体束的完整性。Nojima 等<sup>[5]</sup>针对健康右利手受试者,采用 1 Hz 的 rTMS 刺激左侧大脑皮层 M1 区,观察到 MEP 振幅显著升高,左侧脑区运动皮质兴奋性呈动态变化。此外有实验指出,随着 rTMS 刺激频率( $\geq 2$  Hz)增加,MEP 幅度会逐渐增大,而当刺激频率达到 5 Hz 时,MEP 波幅显著增高,且能持续 1 h<sup>[6]</sup>。因此,通过分析其 MEP 特点有助于评估和预测脑卒中患者上肢运动功能的恢复状态,对如何科学设置康复干预方式具有非常重要意义。

### 1.2 改变大脑局部皮层兴奋性

在正常大脑中,两侧半球的兴奋性保持在一定范围且两者保持平衡。然而脑卒中常常累及一侧大脑半球,导致健侧大脑半球兴奋性显著增高,患侧大脑半球兴奋性显著降低,从而打破这种平衡<sup>[7]</sup>。兴奋性异常增高的健侧大脑半球会部分抑制患侧大脑的功能,导致所支配的肢体产生运动功能障碍,这种现象叫做大脑交互抑制<sup>[8]</sup>。rTMS 可改变大脑半球的突触功能和钙离子通道的开放程度,低频刺激导致长时程抑制(long-term depression, LTD),而高频刺激导致长时程增强(long-term potentiation, LTP)<sup>[9]</sup>,使相应大脑局部皮层兴奋性发生双向改变,既可增高又可降低,改善大脑半球对外界刺激的敏感性并提高其调节能力,从而在中枢神经系统水

平上产生治疗作用。

Urushidani 等<sup>[10]</sup>通过功能性近红外光谱技术和手指任务评定,观察到卒中后第 4 周健侧大脑半球出现激活模式,第 8 周双侧大脑激活模式增强。第 15 周应用低频 rTMS 于健侧半球,激活模式降低,大脑活动转移到患侧半球。此研究既印证了大脑交互抑制的存在,也为证明低频 rTMS 降低兴奋性提供了重要依据。Khedr 等<sup>[11]</sup>将脑卒中患者分为 3 组,第 1 组应用 1 Hz 低频 rTMS 刺激健侧大脑,第 2 组应用 3 Hz 高频 rTMS 刺激健侧大脑,第 3 组应用假刺激。通过观察发现第 1 组健侧半球的运动阈值(active motor threshold, AMT)降低,MEP 振幅增加(均  $P=0.001$ ),证明低频 rTMS 可使健侧半球皮质兴奋性降低,而对患侧半球的影响则相反( $P<0.005$ )。3 Hz 的 rTMS 只对患侧大脑半球有增加皮层兴奋性的影响,AMT 降低( $P=0.0001$ )和 MEP 振幅增高( $P=0.008$ ),而健侧大脑半球未见明显变化。在假刺激中双侧大脑半球的 AMT 和 MEP 均无明显变化。上述测量结果进一步证明低频 rTMS 可降低健侧大脑兴奋性,而高频 rTMS 可增加患侧大脑兴奋性。因此应用低频或高频 rTMS<sup>[12]</sup>,可恢复两侧大脑兴奋平衡,解除抑制,达到治疗目的<sup>[13]</sup>。

## 2 rTMS 对肢体功能的治疗效果

rTMS 在脑卒中患者肢体功能恢复中的应用不断拓展。起初为单侧干预,即在健侧大脑半球给予低频刺激或患侧大脑半球给予高频刺激<sup>[14]</sup>;进一步发展为双侧干预,即低频刺激健侧联合高频刺激患侧<sup>[15]</sup>;现临床多应用 rTMS 联合其他康复干预方法<sup>[16]</sup>。

### 2.1 rTMS 对上肢功能障碍的治疗效果

目前,rTMS 已不断被证实能改善脑卒中患者的上肢肌痉挛和运动功能<sup>[17]</sup>,一般通过刺激大脑上肢功能区,即顶中央旁开 6 cm。黄格朗等<sup>[18]</sup>纳入 7 篇文献,共 206 例应用 rTMS 治疗脑卒中上肢功能障碍患者进行 Meta 分析。其中 4 项研究共 106 例患者接受 1 200 或 2 400 脉冲,90% 静息运动阈值(rest motor threshold, RMT)或 AMT 的 1 Hz 低频 rTMS 干预,时间为 20~40 min。比较对屈肘肌痉挛改良 Ashworth 指数(modified ashworth scale, MAS)评分的影响,其差异有显著性意义[SMD=0.77, 95%CI (0.15, 1.38)]。其中 5 项研究共 164 例患者接受 1 200 或 1 500 或 2 400 脉冲,90% RMT 或 AMT 的 1 Hz 低频 rTMS,时间为 20~40

min。比较对腕屈肌痉挛的 MAS 评分改善程度,其差异有显著性意义[SMD=0.83, 95%CI (0.33, 1.33)],比较对 Fugl-Meyer 上肢测试量表(Fugl-Meyer assessment, FMA)评分的影响,其差异也有显著性意义[SMD = -0.53, 95%CI (-0.79, 0.26)]。证明低频 rTMS 对上肢肌肉痉挛和运动障碍有改善作用。有研究进一步指出,高、低频 rTMS 对上肢治疗作用相当<sup>[19]</sup>,然而亦有研究采用与其相同的干预方法,结果显示高频 rTMS 的治疗作用大于低频 rTMS<sup>[20]</sup>,究其原因可能是对干预前后患者的功能评定标准及评估时间点不同。如今大多数研究仅针对 rTMS 能否改善卒中后肢体功能障碍进行验证性实验,而缺乏对一种或几种不同刺激频率 rTMS 作用程度的深入研究,如不同刺激频率 rTMS 治疗效果和持续时间的横向比较、同一刺激频率 rTMS 治疗效果随时间推移衰减的纵向比较、rTMS 治疗效果与卒中病程的相关性探究。此外 rTMS 经常与其他干预手段联合应用针对卒中后上肢功能障碍进行治疗,如低频刺激联合镜像疗法<sup>[21]</sup>、低高频联合生物反馈疗法<sup>[22]</sup>。有实验指出上肢分离运动训练联合低频 rTMS 可降低卒中后患侧肢体痉挛程度,加强其自主控制,进而提高上肢近端协同动作的完成度和准确性<sup>[23]</sup>。

临床中,以将 rTMS 应用于卒中后手功能改善最为常见。卒中后一侧 M1 区通过异常的经胼胝体抑制(transcallosal inhibition, TCI)来抑制对侧 M1 区功能,因此产生运动功能障碍<sup>[24]</sup>。Takeuchi 等<sup>[25]</sup>首次应用 1 Hz 低频 rTMS 于健侧大脑 M1 区,观察到患者手部的握力和加速度均有所提高( $P < 0.05$ ),但只能持续 30 min。测定 rTMS 干预后 MEP 振幅和 TCI 持续时间较干预前显著降低( $P < 0.01$ ),证实低频 rTMS 可通过缩短 TCI 持续时间来促进卒中患者的手部功能恢复。此外,肖长林等<sup>[26]</sup>在给予卒中患者常规康复训练的基础上,采用 90%RMT 的 3 Hz 高频 rTMS 刺激健侧半球作为实验组,每天 1 次,每周 5 d,共 2 周;采用假刺激作为对照组。观察到干预后实验组 FMA 评分提高较对照组更为显著( $Z = -2.296, P < 0.05$ )。实验组 MAS 评分改善程度具有显著性差异( $Z = -2.456, P < 0.05$ ),而假刺激组评分没有变化。两组的 Barthel 指数(barthel index, BI)均有改善,但组间差值无显著性差异( $t < 0.246, P > 0.05$ ),证明高频 rTMS 同样可促进手功能的康复。最近,周哲等<sup>[27]</sup>采用 5 Hz 高频 rTMS 刺激患侧大脑运动前区也证实此结论。McIntyre 等<sup>[28]</sup>针对 rTMS 改善卒

中后手功能障碍进行 Meta 分析,纳入 10 篇文献共 273 名患者应用 100、1 200、2 400 脉冲的 1 Hz 低频或 10 Hz 高频 rTMS,均设置 90%的 AMT 刺激健侧上肢第一背侧骨间肌。rTMS 对肘关节、手腕和手指屈肌的 MAS 评分改善,差异具有显著意义(均  $P < 0.01$ ),证明其治疗效果。此外卒中后肘部功能障碍不容忽视,刘思豪等<sup>[29]</sup>利用 1 Hz 低频 rTMS 刺激健侧大脑 M1 区,患侧肘关节被动伸展时肱二头肌及主动伸展时肱三头肌的均方根值(root mean square, RMS)、FMA、MAS 均较假刺激组改善更具显著意义( $P < 0.05$ ),证实低频 rTMS 有助于改善患侧上肢屈肘肌痉挛。另外有研究利用 rTMS 缓解卒中后肩痛,且分别联合腹针<sup>[30]</sup>、头针<sup>[31]</sup>,并未指出单一 rTMS 治疗针对肩痛及运动功能的作用。因此,今后应深入研究 rTMS 对腕、肘、肩等上肢关节肌肉的功能改善效果。

## 2.2 rTMS 对下肢功能障碍的治疗效果

有研究表明 rTMS 可改善脑卒中患者的下肢运动和平衡功能,一般通过刺激大脑下肢功能区,即鼻根与枕骨粗隆的连线与两耳尖连线的交叉点。Shimizu 等<sup>[32]</sup>用 5 Hz 高频 rTMS 刺激卒中患者 M1 区域连续 5 天,每天 1 次,且分别采用 H 型线圈和数字 8 型线圈。干预后通过视觉模拟评分法、日本版 McGill 疼痛问卷 II 测量下肢疼痛强度,观察到 H 线圈组两项结果测量均有明显的疼痛改善( $P < 0.001$  和  $P = 0.049$ ),而数字 8 线圈组没有显示,因此使用 H 线圈的高频 rTMS 可显著缓解下肢短期疼痛。Lin 等<sup>[33]</sup>给予卒中患者 1 000 脉冲,90%胫骨前肌的 RMT,1 Hz 的 rTMS 刺激健侧半球的下肢运动区,每天 15 min,连续 5 天,共 15 天。对比干预前后及假刺激组的卒中患者姿势控制评估量表、平衡步态量表、BI 及步态评估(time up and go test, TUG)。干预后上述评估均得到改善,且 rTMS 组评分改善与假刺激组比较具有显著性差异( $P < 0.05$ ),证明低频 rTMS 能降低下肢肌肉痉挛状态并改善运动功能。有实验采用与 Lin 相同的干预方法,观察到 rTMS 组的 FMA 评分较假刺激组改善具有显著性差异( $P = 0.002 < 0.05$ ),进一步证明治疗效果且至少持续 1 周<sup>[34]</sup>。然而 Ghayour-Najafabadi 等<sup>[35]</sup>纳入 15 篇文献共 385 例患者对不同频率的低频 rTMS 改善卒中后下肢功能障碍进行 Meta 分析,指出低频 rTMS 对 FMA 评分影响差异没有显著性意义[SMD=0.01; 95%CI(0.29, 0.31)]。由此可见,rTMS 对改善下肢功能有效性的观点各不相同且证据不足,仍需大量相关研究证

明。

在近 10 年文献检索中,少有 rTMS 对脑卒中后足踝关节治疗的相关研究,且实验结果因研究对象和实验方法不同而产生较大的差异性。仅有 Terreaux 等<sup>[36]</sup>通过 1 Hz 低频 rTMS 刺激健侧大脑、10 Hz 高频 rTMS 刺激患侧大脑,对照组给予安慰剂,定量分析步行和测量神经力学参数,即 H 和 T 反射、最大运动反应(maximum motor response, Mmax)、踝关节肌肉关节僵硬。在刺激后第 9、31 天时对照组和高频组无变化,仅在低频组发现改善拮抗肌抑制,神经力学参数 Hmax/Mmax、T/Mmax 降低(均  $P < 0.05$ )。3 组均未观察到 MAS 评分的变化,腓肌和小腿三头肌运动功能无任何改变。但在第 9 天观察到治疗组存在改善拮抗肌的趋势,特别是在活动状态下背屈肌的最大角度百分比,这一趋势在第 31 天被放大且具有显著差异( $P = 0.049$ )。初步证实仅有低频 rTMS 可降低足踝屈肌反射性兴奋性和缓解僵硬,而痉挛症状未得到明显改善。然而 Sasaki 等<sup>[37]</sup>与其观点不同,采用 1 000 脉冲,90% RMT 的 10 Hz 高频 rTMS 刺激支配踝关节背屈运动的大脑功能区,假刺激作为对照组。观察发现下肢干预前后的 Brunnstrom 恢复期评分明显改善(由  $3.3 \pm 1.3$  提高到  $4.7 \pm 1.3$ ,  $P < 0.01$ ),而在修订版基础运动量表评价(ability for basic movement scale II, ABMS II)中实验组较假刺激组改善程度具有显著性差异(实验组  $48.7 \pm 30.0$ ,假刺激组  $20.2 \pm 17.4$ ,  $P < 0.05$ ),由此可见高频 rTMS 具有改善踝关节的功能。

### 3 rTMS 的安全性

rTMS 已不断被证实是安全可靠的,仅有少数人群存在头晕眼花、耳鸣、食欲不振等不良反应,其中最为严重的症状为癫痫。有研究显示采用 20~25 Hz 高频 rTMS 刺激大脑运动皮层时,可观测到手和手臂肌肉的肌电图短暂剧烈变化,兴奋扩散到近端肌肉,增加癫痫发作风险。刺激频率越大,诱发癫痫的概率越高<sup>[38]</sup>,因此癫痫发作或存在癫痫家族史者均应禁用高频 rTMS。在临床应用中 rTMS 常常不超过 20 Hz,低频 rTMS 被广泛用于治疗癫痫患者症状和改善认知功能障碍,其疗效较药物作用明显<sup>[39]</sup>。但患者体内有金属植入物或特殊植入物时应谨慎应用。因为 rTMS 产生的磁场会使金属物质产生热效应和位移,高温和位移会对组织产生灼伤、炎症或其他不可逆的损伤,也会干扰体内装置的正常运转,损坏植入的金属器械<sup>[40]</sup>。Fong 等<sup>[41]</sup>

将 1 200 脉冲、50% 最大输出量的 rTMS 从 3 个不同角度长时间连续刺激颈动脉支架周围肌肉组织,分别通过录像和数字温度计监测可能引起的支架迁移和温度变化,用苏木精和伊红染色对血管壁进行组织病理学检查,以确定潜在微热损伤。实验结果显示,血管内的支架没有引起任何显著的形态变化,也无热效应产生。因此 rTMS 用于脑卒中中血管支架患者的临床神经康复和生理评估是安全的,但仍需持严谨态度。

### 4 展望

应用 rTMS 是改善脑卒中患者肢体运动功能的新方法,也是当前最重要的方法之一。但仍存在下列几种问题:(1)最佳刺激参数、卒中病程干预时间点、对大脑皮层损害程度、疗效持续时间、患者主观耐受性等对脑卒中运动功能康复的影响因素。(2)对于干预前后患者的功能评定标准与参数的选择。(3)rTMS 对上肢具体部位作用疗效。(4)rTMS 对下肢功能恢复的生理作用机制。(5)联合具有协同效应的其他治疗技术。作为一种新型神经电生理技术,与传统的电刺激技术相比,rTMS 无创无痛,操作方便,刺激大脑深部,疗效显著,安全可靠,对人体的影响伤害小。因此在探究 rTMS 针对脑卒中肢体运动功能的生理机制和改善疗效的基础上,可进一步联合具有协同效应的治疗技术,制定更为疗效的康复治疗处方,以提高脑卒中患者日常生活能力。

### 参考文献:

- [1] Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al. on behalf of the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics—2017 update; a report from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2017, 135:e229-e445.
- [2] Wang W, Jiang B, Sun H, et al. Prevalence, incidence, and mortality of stroke in China: results from a nationwide population-based survey of 480 687 adults[J]. *Circulation*, 2017, 135(8): 759-771. DOI:10.1161/circulationaha.116.025250.
- [3] 武丹娜. 经颅磁电疗仪对脑卒中后肩手综合征的效果研究[C]//第十一次中国中西医结合神经科学会议论文集. 承德, 2015: 82-83.
- [4] Klomjai W, Katz R, Lackmy-Vallée A. Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS)[J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2015, 58(4): 208-213. DOI:10.1016/j.rehab.2015.05.005.
- [5] Nojima K, Iramina K. Relationship between rTMS effects and MEP features before rTMS[J]. *Neurosci Lett*, 2018,

- 664; 110-115. DOI:10.1016/j.neulet.2017.11.030.
- [6] Peinemann A, Reimer B, L er C, et al. Long-lasting increase in corticospinal excitability after 1800 pulses of subthreshold 5 Hz repetitive TMS to the primary motor cortex[J]. *Clin Neurophysiol*, 2004, 115(7): 1519-1526. DOI:10.1016/j.clinph.2004.02.005.
- [7] Kondo T, Kakuda W, Yamada N, et al. Effect of low-frequency rTMS on motor neuron excitability after stroke[J]. *Acta Neurol Scand*, 2013, 127(1): 26-30. DOI:10.1111/j.1600-0404.2012.01669.x.
- [8] 陈怡, 胥方元. 经颅磁刺激在脑卒中患者上肢功能康复中的作用研究进展[J]. *西南军医*, 2016, 18(2): 165-169. DOI:10.3969/j.issn.1672-7193.2016.02.024.
- [9] 朱萍, 钟燕彪, 徐曙天, 等. 不同范式重复性经颅磁刺激的作用机制及改善脑卒中后运动功能的研究进展[J]. *中国康复*, 2019, 34(11): 605-609. DOI:10.3870/zgkf.2019.11.012.
- [10] Urushidani N, Kinoshita S, Okamoto T, et al. Low-frequency rTMS and intensive occupational therapy improve upper limb motor function and cortical reorganization assessed by functional near-infrared spectroscopy in a subacute stroke patient[J]. *Case Rep Neurol*, 2018, 10(2): 223-231. DOI:10.1159/000492381.
- [11] Khedr EM, Abdel-Fadeil MR, Farghali A, et al. Role of 1 and 3 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation on motor function recovery after acute ischaemic stroke[J]. *Eur J Neurol*, 2009, 16(12): 1323-1330. DOI:10.1111/j.1468-1331.2009.02746.x.
- [12] Marini M, Banaji MR, Pascual-Leone A. Studying implicit social cognition with noninvasive brain stimulation[J]. *Trends Cogn Sci*, 2018, 22(11): 1050-1066. DOI:10.1016/j.tics.2018.07.014.
- [13] Dion sio A, Duarte C, Patricio M, et al. The use of repetitive transcranial magnetic stimulation for stroke rehabilitation: a systematic review[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(1): 1-31. DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.008.
- [14] 邓晓青, 廖亮华, 黄秀红, 等. 高、低频重复经颅磁刺激在脑梗死患者运动功能康复中的应用效果[J]. *数理医药学杂志*, 2019, 32(5): 775-776. DOI:10.3969/j.issn.1004-4337.2019.05.067.
- [15] 魏雁, 巴玉兰, 马璟, 等. 不同频率重复经颅磁刺激对脑梗死后患者上肢运动障碍和电生理检测数据的改善效果观察[J]. *脑与神经疾病杂志*, 2018, 26(3): 133-137.
- [16] Jin JN, Wang X, Li Y, et al. The effects of rTMS combined with motor training on functional connectivity in alpha frequency band[J]. *Front Behav Neurosci*, 2017, 11: 234. DOI:10.3389/fnbeh.2017.00234.
- [17] Chieffo R, Scopelliti G, Fichera M, et al. Bi-hemispheric repetitive transcranial magnetic stimulation for upper limb motor recovery in chronic stroke: a feasibility study[J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(4): 932-934. DOI:10.1016/j.brs.2018.03.013.
- [18] 黄格朗, 唐夏林, 黄燕. 1Hz 低频重复经颅磁刺激对脑卒中后偏瘫上肢痉挛及运动功能作用的 meta 分析[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(6): 701-705, 709. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.06.016.
- [19] 秦茵, 刘阅, 郭小平, 等. 高低频重复经颅磁刺激治疗卒中后上肢痉挛的对照研究[J]. *中国卒中杂志*, 2018, 13(6): 550-555. DOI:10.3969/j.issn.1673-5765.2018.06.004.
- [20] 高天昊, 姜从玉, 孙莉敏, 等. 不同频率 rTMS 对脑卒中患者上肢运动功能恢复的影响[J]. *上海医药*, 2020, 41(1): 15-18.
- [21] 李菁, 黄华焱, 陈清法, 等. 低频重复经颅磁刺激联合镜像疗法对脑梗死患者上肢运动功能恢复的临床研究[J]. *中国康复*, 2019, 34(12): 631-634.
- [22] 时红梅, 李依芄, 徐玉丽, 等. 重复经颅磁刺激联合生物反馈对脑卒中上肢运动功能的康复评价[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2019, 22(8): 847-852. DOI:10.12083/SYSJ.2019.08.105.
- [23] Lee J, Kodama M, Masakado Y, et al. Evaluation of low-frequency rTMS therapy for post-stroke patients with paretic upper limb based on the two parallel controllers for tracking movement[J]. *Neurosci Res*, 2011, 71: e248. DOI:10.1016/j.neures.2011.07.1083.
- [24] Murase N, Duque J, Mazzocchio R, et al. Influence of interhemispheric interactions on motor function in chronic stroke[J]. *Ann Neurol*, 2004, 55(3): 400-409. DOI:10.1002/ana.10848.
- [25] Takeuchi N, Chuma T, Matsuo Y, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of contralesional primary motor cortex improves hand function after stroke[J]. *Stroke*, 2005, 36(12): 2681-2686. DOI:10.1161/01.STR.0000189658.51972.34.
- [26] 肖长林, 潘翠环, 陈艳, 等. 高频重复经颅磁刺激对脑卒中患者手功能康复的疗效[J]. *中国康复理论与实践*, 2018, 24(2): 179-183. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2018.02.012.
- [27] 周哲, 沈夏锋, 熊莉, 等. 运动前区高频重复经颅磁刺激对脑卒中上肢功能康复的疗效[J]. *中国康复理论与实践*, 2020, 26(6): 697-702. DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2020.06.014.
- [28] McIntyre A, Mirkowski M, Thompson S, et al. A systematic review and meta-analysis on the use of repetitive transcranial magnetic stimulation for spasticity poststroke[J]. *PM&R*, 2018, 10(3): 293-302. DOI:10.1016/j.pmrj.2017.10.001.
- [29] 刘思豪, 李哲, 郭钢花, 等. 低频重复经颅磁刺激改善脑卒中屈肘肌痉挛及运动功能的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2019, 34(11): 1328-1332. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.11.011.

- [30] 苏彩霞,姚睿,巩尊科,等. 腹针联合重复经颅磁刺激治疗偏瘫肩痛的临床观察[J]. 中国医药导报, 2018, 15(12): 117-120,128.
- [31] 王蜜,巩尊科,王世雁,等. 针刺结合低频重复经颅磁刺激治疗卒中后肩痛的临床疗效[J]. 临床与病理杂志, 2017, 37(9): 1874-1879. DOI:10.3978/j.issn.2095-6959.2017.09.018.
- [32] Shimizu T, Hosomi K, Maruo T, et al. Efficacy of deep rTMS for neuropathic pain in the lower limb: a randomized, double-blind crossover trial of an H-coil and figure-8 coil[J]. J Neurosurg, 2017, 127(5): 1172-1180. DOI:10.3171/2016.9.JNS16815.
- [33] Lin YN, Hu CJ, Chi JY, et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation of the unaffected hemisphere leg motor area in patients with subacute stroke and substantial leg impairment: a pilot study [J]. J Rehabil Med, 2015, 47(4): 305-310. DOI:10.2340/16501977-1943.
- [34] 陈奕杰. 重复经颅磁刺激对卒中患者下肢痉挛和运动功能的影响研究[J]. 重庆医学, 2018, 47(25): 3292-3295, 3298. DOI:10.3969/j.issn.1671-8348.2018.25.012.
- [35] Ghayour-Najafabadi M, Memari AH, Hosseini L, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of lower limb dysfunction in patients post-stroke: asystematic review with meta-analysis[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28(12): 104412. DOI:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104412.
- [36] Terreaux L, Gross R, Leboeuf F, et al. Benefits of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) for spastic subjects: clinical, functional, and biomechanical parameters for lower limb and walking in five hemiparetic patients[J]. Sci World J, 2014, 2014: 389350. DOI:10.1155/2014/389350.
- [37] Sasaki N, Abo M, Hara T, et al. High-frequency rTMS on leg motor area in the early phase of stroke[J]. Acta Neurol Belg, 2017, 117(1): 189-194. DOI:10.1007/s13760-016-0687-1.
- [38] Lomarev MP, Kim DY, Richardson SP, et al. Safety study of high-frequency transcranial magnetic stimulation in patients with chronic stroke[J]. Clin Neurophysiol, 2007, 118(9): 2072-2075. DOI:10.1016/j.clinph.2007.06.016.
- [39] Mahajan UV, Parker JJ, Williams NR, et al. Adjunctive repetitive transcranial magnetic stimulation delivers superior quality of life for focal epilepsy compared to anti-epileptic drugs: a meta-analytic utility prediction study[J]. Brain Stimul, 2020, 13(2): 430-432. DOI:10.1016/j.brs.2019.12.006.
- [40] Dhamne SC, Ilmoniemi RJ, Tsuboyama M, et al. Safety of rTMS in patients with intracranial metallic objects [J]. Brain Stimul, 2020, 13(3): 928-929. DOI:10.1016/j.brs.2019.12.010.
- [41] Fong PY, Chuang WY, Huang YZ, et al. Safety of carotid artery stent in repetitive transcranial magnetic stimulation-The histopathological proof from swine carotid artery[J]. Neurosci Lett, 2017, 657: 194-198. DOI:10.1016/j.neulet.2017.08.011.

(收稿日期:2020-03-30;修回日期:2021-03-24)

(上接第 148 页)

- [4] Sato M, Tateishi K, Murata H, et al. Three-dimensional multimodality fusion imaging as an educational and planning tool for deep-seated meningiomas [J]. Br J Neurosurg, 2018, 32(5): 509-515. DOI:10.1080/02688697.2018.1485877.
- [5] 刘宇清,黄绳跃,何炳蔚,等. 3D 打印技术在大脑镰旁脑膜瘤切除术中的初步应用[J]. 中国全科医学, 2016, 19(24): 2953-2956. DOI:10.3969/j.issn.1007-9572.2016.24.017.
- [6] 师维宏,夏玉成,孙涛,等. 皮质中央区镰旁脑膜瘤显微外科手术探讨[J]. 宁夏医学杂志, 2005, 27(1): 24-26. DOI:10.3969/j.issn.1001-5949.2005.01.009.
- [7] 雷鹏,翁潮弟,王钰,等. 大脑镰矢状窦大型脑膜瘤的显微手术治疗[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2008, 13(10): 436-438.
- [8] Tomasello F, Conti A, Cardali S, et al. Venous preservation-guided resection: a changing paradigm in parasagittal meningioma surgery[J]. J Neurosurg, 2013, 119(1): 74-81. DOI:10.3171/2012.11.jns12011.
- [9] 李国峰,侯文仲,曾敏敏,等. 大脑镰及矢状窦旁脑膜瘤显微手术治疗的研究[J]. 临床神经外科杂志, 2016, 13(4): 252-254,258. DOI:10.3969/j.issn.1672-7770.2016.04.004.
- [10] Mantovani A, Di Maio S, Ferreira MJ, et al. Management of meningiomas invading the major dural venous sinuses: operative technique, results, and potential benefit for higher grade tumors[J]. World Neurosurg, 2014, 82(3-4): 455-467. DOI:10.1016/j.wneu.2013.06.024.
- [11] Heald JB, Carroll TA, Mair RJ. Simpson grade: an opportunity to reassess the need for complete resection of meningiomas[J]. Acta Neurochir, 2014, 156(2): 383-388. DOI:10.1007/s00701-013-1923-6.

(收稿日期:2020-08-02;修回日期:2021-03-25)