.临床研究.

基于功能性近红外光谱成像技术观察重复经颅磁刺激对缺血性脑卒中患者脑皮质血流动力学的影响

李莎 李欣怡 白一凡 赵丽 王春燕 万春晓 天津医科大学总医院康复医学科,天津 300052 通信作者:万春晓,Email;rehabteamofwan@163.com

【摘要】目的 采用功能性近红外光谱成像技术(fNIRS)观察重复经颅磁刺激(rTMS)对缺血性脑卒中患者脑皮质血流动力学的影响。方法 按照 2:1 比例随机将 26 例缺血性脑卒中后上肢运动障碍患者分为观察组(17 例)及对照组(9 例)。2 组患者均给予常规康复干预,在此基础上观察组患者采用 10 Hz 高频rTMS 刺激病灶侧辅助运动区(SMA),每日治疗 1 次,每次 20 min,每周治疗 5 d,持续治疗 3 周;对照组患者则同期给予 rTMS 假刺激治疗。于干预前、干预 3 周后采用 Fugl-Meyer 上肢运动功能量表(FMA-UE)评估患者上肢运动功能恢复情况,采用 fNIRS 技术检测干预前、后 2 组患者初级感觉运动皮质(SM1)、辅助运动皮质及前运动皮质(SMA+PMC)的氧合血红蛋白(HbO)浓度,采用 Pearson 相关性检验分析 FMA-UE 评分与 HbO 浓度间的相关性。结果 干预后 2 组患者 FMA-UE 评分均较干预前显著增加(P<0.05),并且观察组 FMA-UE 评分的改善幅度亦显著优于对照组水平(P<0.05)。干预后观察组患者准备期通道 20 及任务期通道 31 的 HbO 浓度均较干预前显著增加(P<0.05)。通过 Pearson 相关性分析发现,干预前观察组任务期通道 31 的 HbO 浓度与 FMA-UE 评分改善值具有正相关性(r=0.617,P=0.008)。结论 采用高频 rTMS 刺激病灶侧 SMA 能更好地改善缺血性脑卒中患者上肢运动功能,在促进病灶侧局部运动皮质激活同时,还能抑制对侧运动皮质兴奋,且通道 31(位于病灶侧SM1区)的 HbO 浓度可能对疗效结果具有预测价值。

【关键词】 脑卒中; 重复经颅磁刺激; 功能性近红外光谱成像技术; 运动皮质

基金项目: 天津市医学重点学科(TJYXZDXK-060B); 天津市卫生健康科技项目重点学科专项(TJWJ2022XK007); 天津市应用基础研究多元投入基金面上项目(21JCYBJC01610);

DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20240422-00301

Effects of repetitive magnetic stimulation on the hemodynamics of cerebral cortex patients with upper limb motor dysfunction after an ischemic stroke as observed by using functional near-infrared spectroscopy

Li Sha, Li Xinyi, Bai Yifan, Zhao Li, Wang Chunyan, Wan Chunxiao

Department of Rehabilitation Medicine, Tianjin Medical University General Hospital, Tianjin 300052, China Corresponding author: Wan Chunxiao, Email: rehabteamofwan@163.com

[Abstract] Objective To observe any effect of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on the hemodynamics of the cerebral cortex after an ischemic stroke using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). Methods Twenty-six ischemic stroke survivors with upper limb motor dysfunction were assigned at random to an experimental group (n=17) or a control group (n=9). Both groups received conventional rehabilitation training, but the experimental group additionally received 20 minutes of rTMS at 10Hz applied over the supplementary motor area (SMA) of the affected side. The treatment was applied 5 times a week for 3 weeks. The control group received sham rTMS stimulation on the same schedule. Before and after the intervention, the motor function of the hemiplegic upper limb was evaluated in both groups using the Fugl-Meyer upper extremity assessment (FMA-UE). The concentration of oxyhemoglobin (HbO) in the primary sensorimotor cortex (SM1), the SMA and the premotor cortex (PMC) was measured using fNIRS. The FMA-UE scores were then tested for any significant correlation with the HbO concentrations. Results After the intervention, the average FMA-UE scores had increased significantly in both groups, with significantly greater improvement in the experimental group. Among the experimental group a significant increase was also observed in the HbO concentration in channel 20 during the preparation period and in channel 31 during the task period, along with a significant decrease in it in the CL-SM1 and CL-(SMA+PMC) during the task period. HbO con-

centration in channel 31 during the task period before the intervention was found to be significantly correlated with the changes in the experimental group's FMA-UE scores. **Conclusions** High-frequency rTMS of the SMA on the affected side can improve the motor functioning of a hemiplegic upper limb, promote activation of the local motor cortex on the lesioned side, and inhibit activation of the contralateral motor cortex. HbO concentration in channel 31 may predict these therapeutic effects.

[Key words] Stroke; Transcranial magnetic stimulation; Functional near-infrared spectroscopy; Motor cortex

Funding: Tianjin Key Medical Discipline (Specialty) construction project (TJYXZDXK-060B); Tianjin Key Discipline Health Science and Technology Project (TJWJ2022XK007); Tianjin's Multi-Investment Fund for Applied Basic Research (21JCYBJC01610)

DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20240422-00301

脑卒中是全球第三大残疾原因,卒中后患者的经济负担沉重,全球每年花费近900亿美元^[1]。大约三分之二的脑卒中幸存者会遗留有不同程度的功能障碍,其中运动障碍(尤其是上肢运动障碍)是阻碍其回归社会的重要原因^[2],及时给予有效康复治疗,能提高患者康复疗效并改善预后,同时还有利于减少医疗资源支出。

重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)对改善脑卒中患者上肢运动功能具有一定作用^[3]。目前研究发现,上肢功能的恢复与初级感觉运动皮质(primary sensorimotor cortex, SM1)密切相关,同时还涉及与 SM1 形成复杂网络的其他区域,如辅助运动皮质(supplementary motor area, SMA)及前运动皮质(premotor cortex, PMC),它们均参与了上肢运动功能的恢复过程^[4-5]。相关治疗指南指出,采用高频 rTMS 刺激病灶侧或低频 rTMS 刺激病灶对侧 SM1 治疗卒中后运动障碍仅为 C 级证据^[6]。目前关于 rTMS 治疗卒中后运动障碍的刺激参数、靶点选取等尚未统一,而动态追踪康复过程中患者大脑功能的变化,有利于对比不同参数 rTMS 的疗效,从而帮助临床制订 rTMS 治疗方案。

功能性近红外光谱成像技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)作为一种光学神经成像技术,通过监测皮质中氧合血红蛋白(oxyhemoglobin, HbO)及去氧血红蛋白(deoxyhemoglobin, HbR)的浓度变化,能实时动态反映大脑皮质血液动力学活动情况。相关研究显示, HbO 的浓度变化能在一定程度上反映与任务相关的大脑激活程度^[7], 为检测大脑激活情况提供了一种有效的可视化手段。基于此,本研究联合采用 Fugl-Meyer 上肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer assessment-upper extremity, FMA-UE)、fNIRS 技术动态评估 rTMS 对缺血性脑卒中患者上肢运动功能恢复及大脑运动皮质血流动力学的影响,为 rTMS 刺激方案的制订及优化提供参考资料。

对象与方法

一、对象及分组

本研究经天津医科大学总医院医学伦理委员会审 批(IRB2022-YX-054-01),并通过中国临床试验注册中 心认证(注册号 ChiCTR2200060955)。患者纳入标准 包括:①均符合中华医学会神经病学分会制订的《中 国各类主要脑血管病诊断要点 2019》中关于脑卒中的 诊断标准^[8],并经颅脑 CT 或 MRI 检查确诊为缺血性 脑卒中;②责任病灶为首次发病,偏瘫侧上肢 Brunnstrom 分期为 II - VI 期; ③病程2 周~3 个月; ④年 龄 40~85 岁; ⑤患者生命体征稳定, 意识清楚, 简易认 知状态评价量表 (mini-mental state examination, MMSE)评分≥21分;⑥患者对本研究知晓并签署知情 同意书。患者排除标准包括:①伴有明显的精神病性 症状、严重躯体疾病、脑器质性疾病等:②既往有癫痫 病史或家族史:③头部或脑部有手术史,颅内有金属植 入物;④正在参与其他临床试验或无法配合完成训练 及评估等。

选取 2022 年 6 月至 2023 年 9 月期间在天津医科大学总医院康复科治疗且符合上述标准的缺血性脑卒中患者 26 例作为研究对象,按照 2:1 比例随机分为观察组(17 例)和对照组(9 例)。2 组患者一般资料情况(表 1)经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义(P>0.05),具有可比性。

二、治疗方法

- 2 组患者均给予常规康复干预及药物治疗,观察组在此基础上辅以 rTMS 刺激,对照组则同期辅以 rTMS 假刺激,具体干预内容如下。
- 1.常规康复干预及药物治疗:常规康复干预包括物理因子治疗、主被动运动训练、作业疗法、手功能疗法等;药物干预包括营养神经、抗血小板聚集、调脂及降血压等。
- 2. rTMS 干预:选用武汉产 Mag TD 型磁场刺激仪及"8"型磁刺激线圈,线圈与头颅相切并将中心对准

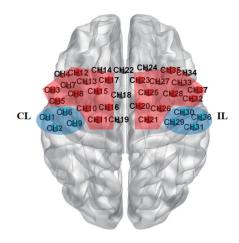
性别(例) 偏瘫侧别(例) MMSE 评分 组别 例数 年龄(岁,x±s) 病程($d,\bar{x}\pm s$) 男 左侧 右侧 (分,x±s) 女 观察组 17 13 4 64.35±10.24 33.94±22.10 24.53 ± 2.96 对照组 2 66.56±10.42 31.56±22.18 5 4 23.56 ± 2.88

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

病灶侧 SMA 区,设置磁刺激频率 10 Hz,刺激强度为 100%静息运动阈值 (rest motor threshold, RMT) 水平,每个序列有 25 个脉冲,持续时间为 2.5 s,每个序列结束后间隔 10 s,共刺激 96 个序列,总脉冲数量为 2400 个,总治疗时间为 20 min,每日治疗 1 次,每周治疗 5 d,连续治疗 3 周。RMT 定义为 10 次单脉冲刺激中有 5 次可使静息状态下偏瘫侧拇短展肌产生波幅超过 50 μV 的最小磁刺激强度。对照组进行 rTMS 假刺激时的刺激部位及参数均同观察组,但磁刺激线圈平面与颅骨表面垂直。

三、实时动态 fNIRS 数据采集

本研究选用武汉产 BS-7000 型近红外光谱系统采集患者 fNIRS 数据,该设备配置的光纤帽包含 12 个光源发射器及 12 个接收器,光源能发射 690 nm 和830 nm 两种波长的近红外光,采样频率为 100 Hz,相邻光纤探头间的距离为 3 cm,并定义为 1 个"通道",本实验 fNIRS 通道配置共有 37 个。参照国际 10-20体系标准^[9],将光纤帽放置于患者双侧运动皮质区(详见图 1)。于干预前、干预 3 周后分别采集 2 组患者 100 s 任务态 fNIRS 数据,具体操作流程如下:指导患者佩戴光纤帽,闭目,思想放松,准备期阶段要求患者保持静息状态 20 s,当系统发出"开始"提示音后即进入任务期,要求患者用偏瘫侧上肢重复执行抬举运动,持续 60 s;当系统发出"休息"提示音后即进入恢复期,要求患者保持静息状态,思想完全放松,持续 20 s,全程采集患者 fNIRS 数据。



注:红色区域为辅助运动皮质和前运动皮质区,蓝色区域为 初级感觉运动皮质区

图 1 脑运动皮质分区及光纤帽通道分布图

四、上肢运动功能评估

于干预前、干预 3 周后采用 FMA-UE 量表评估 2 组患者偏瘫侧上肢运动功能情况,该量表评估内容 包括腱反射、肩、肘、腕关节屈肌、伸肌协同运动及分离 运动、腕关节稳定性、小关节运动(如手的抓握、手指 侧捏、对指等)协调能力和速度情况等,满分为 66 分,得分越高表示患者上肢运动功能越好^[10]。

五、fNIRS 数据处理

采用 MATLAB (R2014b) 进行 fNIRS 数据处理。 为便于分析对比,所有左半球损伤患者的 fNIRS 数据 均翻转到右侧,即右半球为病灶侧(ipsilesional side, IL), 左半球为对侧(contralesional side, CL)。具体数 据分析过程如下:①预处理——计算原始信号的相对 变异系数(coefficient of variation, CV), 进行数据质量 控制和筛查,去除 CV>25%的数据;采用 homer2 模块 修正运动伪影(样条插值法);带通滤波去除生理波动 (如脉搏、呼吸等)噪声;采用修改后的比尔-朗伯定律 将原始光强度转化为光密度,然后再将光密度转化为 HbO 浓度。②大脑激活构建——分析每位患者各通 道 HbO 浓度在准备期及任务期的相对变化情况,其结 果代表该通道的激活程度;HbO浓度平均变化波形为 血流动力响应曲线,通过提取血流动力响应曲线均值、 积分值等特征信息并进行全组水平上的统计分析以评 估脑区激活强度。③感兴趣区 (regions of interest, ROI) 选取——基于 Brodmann 分区系统划分脑区, ROI 包括双侧 SM1、SMA+PMC。ROI 与各通道间的对 应关系详见表 2。

表 2 ROI与 fNIRS 各通道的对应关系

感兴趣区(ROI)	通道分布
CL-SM1	1,2,6,9
IL-SM1	29,30,31,36
CL-(SMA+PMC)	3,5,8,10,11,12,15,16,17
IL-(SMA+PMC)	20,21,23,25,26,28,32,35,37

五、统计学方法

本研究使用 SPSS 25.0 版统计学软件包进行数据分析,采用 Shapiro-Wilk 检验评估连续变量的数据分布情况。对于服从正态分布且方差齐性的连续变量数据以($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用 t 检验;对于不符合正态分布的连续变量则采用中位数和四分位距表示,组间比较采用非参数检验。使用假发

现率(false discovery rate, FDR)对各通道的神经激活情况进行多重比较, P < 0.05 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、干预前、后2组患者FMA-UE评分比较

干预前,2 组患者 FMA-UE 评分组间差异无统计学意义(P>0.05);干预后,2 组患者 FMA-UE 评分均较干预前显著增加(P<0.05),并且观察组 FMA-UE 评分的改善幅度亦显著优于对照组水平(P<0.05)。具体结果见表 3。

二、干预前、后2组患者各通道 HbO 浓度比较

干预前,2组患者各通道 HbO 浓度组间差异均无统计学意义(P>0.05);干预后,观察组准备期通道 20

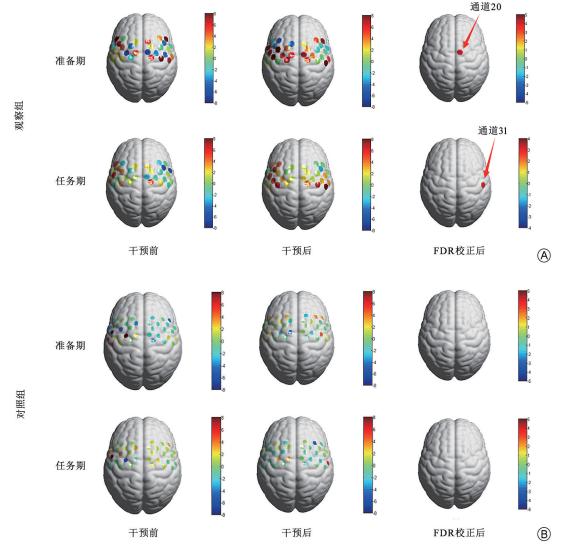
[即 IL-(SMA+PMC)区]的 HbO 浓度较干预前显著增加(P<0.05),任务期通道 31(即 IL-SM1 区)的 HbO 浓度较干预前显著增加(P<0.05)。具体情况见图 2。

三、干预前、后 2 组患者感兴趣区 HbO 浓度比较干预前,2 组患者各感兴趣区 HbO 浓度组间差异均无统计学意义(*P*>0.05);干预后,观察组 CL-SM1 及CL-(SMA+PMC)在任务期的 HbO 浓度均较干预前显著降低(*P*<0.05,经 FDR 校正后)。具体结果见表 4。

表 3 干预前、后 2 组患者 FMA-UE 评分比较($分,\bar{x}\pm s$)

组别	例数	干预前	干预后	干预前、后差值
观察组	17	28.82±15.18	40.47±19.76 ^a	11.65±10.47 ^b
对照组	9	27.22 ± 15.15	32.56±15.25 ^a	5.33 ± 3.76

注:与组内干预前比较, ^aP<0.05; 与对照组相同指标比较, ^bP<0.05



注:A 为观察组 HbO 浓度变化;B 为对照组 HbO 浓度变化;蓝色表示该处大脑皮质活动抑制,红色表示该处大脑皮质活动活跃;所有通道干预前、后 HbO 浓度(经 FDR 校正)进行比较,差异具有统计学意义(P<0.05)的通道在图中显示

图 2 干预前、后 2 组患者 fNIRS 各通道 HbO 浓度比较

组别			准备期			任务期			
	例数	CL-SM1	IL-SM1	CL- (SMA+PMC)	IL- (SMA+PMC)	CL-SM1	IL-SM1	CL- (SMA+PMC)	IL- (SMA+PMC)
观察组						_			
干预前	17	0.06 ± 0.26	-0.00 ± 0.08	0.02 ± 0.20	-0.05 ± 0.19	0.46 ± 1.25	-0.08 ± 0.86	0.14 ± 0.68	0.01 ± 0.51
干预后	17	-0.01 ± 0.07	0.02 ± 0.30	-0.02 ± 0.13	-0.02 ± 0.09	-0.31 ± 0.75^{a}	0.09 ± 1.08	-0.30 ± 0.79^{a}	-0.03 ± 0.67
对照组									
干预前	9	0.08 ± 0.34	-0.02 ± 0.10	0.02 ± 0.14	0.02 ± 0.15	-0.02 ± 0.06	-0.02 ± 0.04	0.01 ± 0.03	-0.01 ± 0.04
干预后	9	-0.05 ± 0.16	0.07 ± 0.42	-0.01 ± 0.12	-0.07 ± 0.18	-0.08 ± 0.24	0.01 ± 0.05	-0.00 ± 0.05	-0.04 ± 0.08

表 4 任务杰通道水平下 2 组患者 HbO 浓度比较(mmol/L.x±s)

注:与组内干预前比较, aP<0.05

四、HbO 浓度与 FMA-UE 评分的相关性分析 通过 Pearson 相关性分析发现,干预前观察组任 务期 IL-SM1 区的 HbO 浓度与 FMA-UE 评分改善值具 有正相关性(r=0.617,P=0.008),具体情况见图 3。

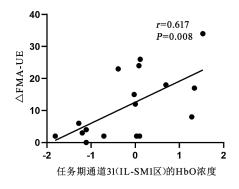


图 3 HbO 浓度与 FMA-UE 评分的相关性分析

讨 论

卒中后受损功能的恢复与脑可塑性密切相关[11]。 rTMS 的治疗机制是诱导皮质兴奋性及可塑性发生改 变[12]。根据神经血管耦合机制,大脑皮质神经元兴奋 会导致小动脉及毛细血管扩张,产生局部脑血流动力 学变化,从而改善局部灌注[12],而这些变化可被近红 外光谱识别。本研究基于 fNIRS 技术,发现经 rTMS 干 预后,观察组准备期 IL-(SMA+PMC)区及任务期 IL-SM1区的 HbO 浓度均较干预前显著增加:观察组任 务期 CL-SM1 和 CL-(SMA+PMC)的 HbO 浓度较干预 前显著下降。根据半球间抑制模型理论,病灶侧损伤 会打破双侧半球间的交互性抑制平衡,导致病灶侧皮 质兴奋性下降、病灶对侧皮质兴奋性增强,不利于运动 功能恢复[13-14]: 而 rTMS 能调节大脑皮质的兴奋性, 使 卒中后两侧脑半球的兴奋性重新趋于平衡,从而加速 运动功能恢复[15]。本研究也获得类似结果,如观察组 患者经rTMS干预后,发现其病灶侧皮质激活增强,对 侧皮质激活减弱,提示高频 rTMS 刺激病灶侧 SMA 区 能加速半球间兴奋性恢复平衡。另外观察组的病灶侧 SMA+PMC 区仅在准备期被显著激活,可能与 SMA 主 要参与运动准备、计划及启动过程有关^[16]。Guida 等^[17]研究结果也提示 SMA 在控制目标导向的行动中具有主导作用。当前 SMA 已是 rTMS 治疗帕金森病的常规靶点,能促进患者空间规划及运动序列执行能力的恢复,并且 SMA 也可能成为 rTMS 治疗脑卒中的潜在靶点,有助于患者运动功能改善。

本研究 2 组患者分别经相应干预后,发现其 FMA-UE 评分均较干预前明显改善,并且观察组 FMA-UE 评分的改善幅度亦显著优于对照组水平。为进一步探讨运动皮质兴奋性与卒中患者运动功能间的关系,本研究通过 Pearson 相关性分析发现观察组在干预前其任务期病灶侧 SM1 区的 HbO 浓度与上肢运动恢复情况(FMA-UE 评分改善值)具有正相关性,提示干预前病灶侧 SM1 区的 HbO 浓度对预测 rTMS 治疗卒中患者上肢功能障碍的疗效具有一定价值。

综上所述,采用高频 rTMS 刺激病灶侧 SMA 可促进病灶侧局部运动皮质激活,抑制对侧运动皮质兴奋,从而更好地改善上肢运动功能障碍,提示 SMA 可能成为 rTMS 治疗脑卒中的潜在靶点,且通道 31 的HbO 浓度对其疗效具有预测价值。需要指出的是,本研究还存在诸多不足,包括:①样本量偏小且来源单一;②入选患者病程跨度较大;③本研究未观察到对照组 fNIRS 在干预前、后出现显著变化,可能与观察时间较短有关,后续研究将针对上述不足进一步完善。

参考文献

- [1] Owolabi MO, Leonardi M, Bassetti C, et al. Global synergistic actions to improve brain health for human development [J]. Nat Rev Neurol, 2023, 19(6):371-83.DOI:10.1038/s41582-023-00808-z.
- [2] Stinear CM, Lang CE, Zeiler S, et al. Advances and challenges in stroke rehabilitation [J]. Lancet Neurol, 2020, 19 (4): 348-360. DOI: 10. 1016/S1474-4422(19)30415-6.
- [3] Ludemann-Podubecka J, Bosl K, Nowak DA. Repetitive transcranial magnetic stimulation for motor recovery of the upper limb after stroke [J].Prog Brain Res, 2015, 218:281-311.DOI:10.1016/bs.pbr.2014. 12.001.
- [4] Latchoumane CV, Barany DA, Karumbaiah L, et al. Neurostimulation

and reach-to-grasp function recovery following acquired brain injury: insight from pre-clinical rodent models and human applications [J]. Front Neurol, 2020, 11:835.DOI:10.3389/fneur.2020.00835.

- [5] Zhong G, Yang Z, Jiang T. Precise modulation strategies for transcranial magnetic stimulation; advances and future directions [J]. Neurosci Bull, 2021, 37 (12):1718-1734. DOI:10.1007/s12264-021-00781-x.
- [6] Chen R.Guideline on therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation; useful but know the methods and limitations [J]. Clin Neurophysiol, 2020, 131 (2); 461-462. DOI; 10.1016/j. clinph. 2019. 11.020.
- [7] Strangman G, Boas DA, Sutton JP. Non-invasive neuroimaging using near-infrared light[J]. Biol Psychiatry, 2002, 52 (7): 679-693. DOI: 10.1016/s0006-3223(02)01550-0.
- [8] 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.
- [9] Jurcak V, Tsuzuki D, Dan I. 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited; their validity as relative head-surface-based positioning systems
 [J]. Neuroimage, 2007, 34 (4): 1600-1611. DOI: 10.1016/j. neuroimage.2006.09.024.
- [10] Huynh BP, DiCarlo JA, Vora I, et al. Sensitivity to change and responsiveness of the upper extremity Fugl-Meyer assessment in individuals with moderate to severe acute stroke [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2023, 37(8):545-553.DOI:10.1177/15459683231186985.
- [11] Tang Z, Liu T, Han K, et al. The effects of rTMS on motor recovery after stroke: a systematic review of fMRI studies [J]. Neurol Sci, 2024, 45 (3):897-909.DOI:10.1007/s10072-023-07123-x.

- [12] Csipo T, Mukli P, Lipecz A, et al. Assessment of age-related decline of neurovascular coupling responses by functional near-infrared spectroscopy(fNIRS) in humans [J]. Geroscience, 2019, 41 (5): 495-509. DOI: 10.1007/s11357-019-00122-x.
- [13] Tam PK, Oey NE, Tang N, et al. Facilitating corticomotor excitability of the contralesional hemisphere using non-invasive brain stimulation to improve upper limb motor recovery from stroke-a scoping review[J]. J Clin Med, 2024, 13 (15);4420. DOI: 10.3390/jcm13154420.
- [14] Safdar A, Smith MC, Byblow WD, et al. Applications of repetitive transcranial magnetic stimulation to improve upper limb motor performance after stroke: a systematic review [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2023,37(11-12):837-849.DOI:10.1177/15459683231209722.
- [15] Askin A, Tosun A, Demirdal US. Effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on upper extremity motor recovery and functional outcomes in chronic stroke patients; a randomized controlled trial [J]. Somatosens Mot Res, 2017, 34(2): 102-107. DOI:/ 10.1080/08990220.2017.1316254.
- [16] 窦佳鸣,李春光,眭演祥,等.重复经颅磁刺激对脑卒中后上肢功能影响的近红外脑功能成像研究[J].中华物理医学与康复杂志,2019,41(6):418-423.DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.06.005.
- [17] Guida P, Foffani G, Obeso I. The supplementary motor area and automatic cognitive control; lack of evidence from two neuromodulation techniques [J]. J Cogn Neurosci, 2023, 35 (3): 439-451. DOI: 10. 1162/jocn_a_01954.

(修回日期:2024-08-26) (本文编辑:易 浩)

·读者·作者·编者·

本刊对参考文献的有关要求

执行 GB/T 7714-2005《文后参考文献著录规则》。采用顺序编码制著录,依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字标出,并将序号置于方括号中,排列于文后。内部刊物、未发表资料(不包括已被接受的待发表资料)、个人通信等请勿作为文献引用。日文汉字请按日文规定书写,勿与我国汉字及简化字混淆。同一文献作者不超过 3 人全部著录;超过 3 人只著录前 3 人,后依文种加表示",等"。作者姓名一律姓氏在前、名字在后,外国人的名字采用首字母缩写形式,缩写名后不加缩写点;不同作者姓名之间用","隔开,不用"和"、"and"等连词。题名后请标注文献类型标志。文献类型标志代码参照 GB 3469-1983《文献类型与文献载体代码》,如参考文献类型为杂志,请于参考文献末尾标注 DOI 号。中文期刊用全名。示例如下。

- [1] 陈登原.国史旧闻[M].北京:中华书局,2000:29.
- [2] 胡永善.运动功能评定//王茂斌.康复医学[M].2版.北京:人民卫生出版社,2002:67-78.
- [3] 刘欣,申阳,洪葵,等.心脏性猝死风险的遗传检测管理[J].中华心血管病杂志,2015,43(9):760-764. DOI:10.3760/cma.j. issn.0253-3758.2015.09.003.
- [4] Mahowald ML, Krug HE, Singh JA, et al. Intra-articular Botulinum Toxin Type A: a new approach to treat arthritis joint pain [J]. Toxicon, 2009, 54(5):658-667. DOI:10.1016/j.toxicon.2009.03.028.
- [5] 余建斌.我们的科技一直在追赶:访中国工程院院长周济[N/OL].人民日报,2013-01-12(2). [2013-03-20].http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2013-01/12/nw.D110000renmrb 20130112 5-02.htm.