

DOI: 10.14188/j.1671-8852.2025.0332

文章编号 1671-8852(2026)04-0538-06

高频 rTMS 联合生物反馈治疗对脑卒中偏瘫患者运动功能及表面肌电图的影响

张勇 杨改清 张东亚

郑州大学附属郑州中心医院神经内科 河南 郑州 450007

摘要 目的:探讨高频重复经颅磁刺激(rTMS)联合表面肌电生物反馈(sEMG-BF)对脑卒中恢复期偏瘫患者上肢运动功能、神经肌肉控制及日常生活能力(ADL)的影响。方法:选取2020年2月至2025年2月收治的100例脑卒中恢复期偏瘫患者(Brunnstrom III~IV期),随机分为联合组($n=50$)和对照组($n=50$)。两组均接受常规康复治疗(Bobath技术、运动再学习、功能性电刺激等),联合组增加高频rTMS(10 Hz,患侧M1区,每次1500脉冲,每周5次,共4周)和sEMG-BF(肌肉激活、放松及协调训练,每周3次,共8周)。评估治疗前后Fugl-Meyer上肢评分(FMA-UE)、表面肌电参数(iEMG、RMS)及改良Barthel指数(MBI),并记录不良反应。结果:治疗8周后,联合组FMA-UE评分改善、肱桡肌iEMG增加及MBI提升均显著优于对照组(均 $P<0.05$)。sEMG显示联合组指伸肌静息RMS降低且低于对照组, $P<0.05$ 。联合组不良反应发生率(10.00%)略高于对照组(4.00%),但均为轻度且可控。结论:高频rTMS联合sEMG-BF可有效改善脑卒中偏瘫患者上肢运动功能、神经肌肉协调性及ADL,安全性良好,具有临床推广价值。

关键词 脑卒中;重复经颅磁刺激;表面肌电生物反馈;运动功能;日常生活能力

中图分类号 R743.3

文献标志码 A

Effect of high-frequency rTMS combined with biofeedback therapy on motor function and surface electromyography in stroke patients with hemiplegia

ZHANG Yong, YANG Gaiqing, ZHANG Dongya

Department of Neurology, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University,
Zhengzhou 450007, Henan, China

Abstract

Objective: To examine the impact of combining high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) with surface electromyographic biofeedback (sEMG-BF) on upper limb motor function, neuromuscular control, and activities of daily living (ADL) in stroke survivors with hemiplegia during the rehabilitation phase. **Methods:** A total of 100 stroke patients with hemiplegia (Brunnstrom stage III-IV) admitted between February 2020 and February 2023 were included. The patients were randomly allocated into two groups: a combined group ($n=50$) and a control group ($n=50$). Both groups received conventional rehabilitation treatment (Bobath technique, motor relearning program, functional electrical stimulation, etc.), while the combined group additionally received high-

课题来源:2022年郑州市科技惠民计划项目(编号:2022KJHM0017)。

作者简介:张勇,男,1978—,医学硕士,副主任医师,主要从事脑血管疾病研究,E-mail:hunbu61280@163.com。

通信作者:张东亚,E-mail:dongya96@126.com。

frequency rTMS (10 Hz, applied to the affected M1 area, 1 500 pulses per session, 5 sessions per week for 4 weeks) and sEMG-BF (involving muscle activation, relaxation, and coordination training, 3 sessions per week for 8 weeks). Assessments included the Fugl-Meyer Assessment for Upper Extremity (FMA-UE), surface electromyography parameters (iEMG and RMS), and the Modified Barthel Index (MBI) before and after treatment. Adverse reactions were recorded. **Results:** After 8 weeks of treatment, the combined group showed significantly greater improvements in FMA-UE scores, increased iEMG of the brachioradialis muscle, and higher MBI scores compared to the control group (all $P < 0.05$). sEMG revealed that the resting RMS of the extensor digitorum muscle in the combined group decreased and was lower than that in the control group ($P < 0.05$). The adverse reaction rate in the combined group (10.00%) was slightly higher than that in the control group (4.00%), but all adverse events were mild and resolved without intervention. **Conclusion:** The combination of high-frequency rTMS and sEMG-BF significantly enhances upper limb motor function, neuromuscular coordination, and ADL in stroke patients with hemiplegia, with a good safety profile and clinical applicability.

Key Words Stroke; Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation; Surface Electromyographic Biofeedback; Motor Function; Activities of Daily Living

脑卒中是我国成年人致残的首要原因,约70%的幸存者遗留不同程度的运动功能障碍,其中上肢偏瘫严重影响患者的日常生活能力(activities of daily living, ADL)和生活质量^[1]。研究^[2]表明,卒中后运动功能恢复的关键机制涉及大脑皮质重组和神经可塑性变化,而恢复期(3~12个月)是神经功能重塑的黄金窗口。然而,传统康复治疗(如运动疗法、作业疗法)在改善上肢精细运动和协调性方面存在一定局限性,因此,亟需探索更有效的神经调控与生物反馈技术以优化康复效果。

重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为一种无创神经调控技术,可通过调节大脑皮质兴奋性促进卒中后运动功能恢复^[3]。其中,高频 rTMS(>5 Hz)刺激患侧初级运动皮层(M1区)可增强皮质脊髓束传导,改善运动控制能力^[4]。与此同时,表面肌电生物反馈(surface electromyographic biofeedback, sEMG-BF)技术能够实时监测肌肉活动,通过视觉或听觉反馈帮助患者重新建立正确的运动模式,减少异常协同收缩^[5]。近年来,部分研究提示 rTMS 与生物反馈联合应用可能产生协同效应,且针对恢复期患者的优化治疗方案尚未形成共识。

基于此,该研究旨在探讨高频 rTMS 联合 sEMG-BF 对脑卒中恢复期偏瘫患者上肢运动功能、神经肌肉控制及日常生活能力的影响,以期为临床康复提供更有效的综合干预策略。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究纳入郑州大学附属郑州中心医院2020年2月至2025年2月期间收治的100例脑卒中后偏瘫患者,均符合以下标准:①经头颅CT或MRI确诊为首次发病的单侧大脑半球卒中(包括缺血性/出血性),符合《脑卒中中西医结合防治指南(2023版)》诊断标准^[6];②病程3~12个月,处于恢复期;③患侧上肢Brunnstrom分期Ⅲ~Ⅳ期(存在部分分离运动但协调性差);④年龄40~75岁;⑤简易智能精神状态检查量表(MMSE)评分 ≥ 18 分,能配合治疗;⑥签署知情同意书。排除标准:①存在 rTMS 禁忌证(癫痫病史、颅内金属植入物、心脏起搏器等);②合并严重心肺功能不全(NYHA 心功能Ⅲ~Ⅳ级)、恶性肿瘤或自身免疫性疾病;③妊娠或哺乳期妇女;④近3个月内参与其他临床试验者。最终入组患者中,男性58例,女性42例,年龄(62.33 ± 8.72)岁,缺血性脑卒中75例(75.00%),出血性脑卒中25例(25.00%),随机分为联合组与对照组各50例,两组基线资料,差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表1。研究经本院伦理委员会审批通过(伦理审批号:L2019-Y080-013)。

1.2 治疗方法 所有患者均接受标准康复治疗:①运动疗法采用Bobath技术(反射抑制体位训练30 min,关键点控制肩胛带/骨盆带各15 min,姿势控制训练15 min)和运动再学习疗法(认知期10 min、联系期20 min、自动化期20 min、应用期

表 1 两组患者基线资料比较 $[\bar{x}\pm s; \text{例}(\%)]$

指标	联合组 (<i>n</i> =50)	对照组 (<i>n</i> =50)	<i>t</i> / χ^2	<i>P</i>
年龄/岁	62.35±8.47	61.92±9.12	0.283	0.781
性别			0.042	0.841
男	29(58.00)	30(60.00)		
女	21(42.00)	20(40.00)		
卒中类型			0.052	0.823
缺血	38(76.00)	37(74.00)		
出血	12(24.00)	13(26.00)		
病变侧别			0.164	0.689
左侧	26(52.00)	28(56.00)		
右侧	24(48.00)	22(44.00)		
病程/年	5.23±2.13	5.58±2.31	-0.912	0.365
Brunnstrom 分期			0.224	0.639
Ⅲ期	32(64.00)	34(68.00)		
Ⅳ期	18(36.00)	16(32.00)		

10 min), 每次 60 min, 每周 5 次; ②作业疗法根据 FMA-UE 评分分层训练(<20 分: 被动-辅助训练; 20~40 分: 主动训练; >40 分: 精细动作训练), 每次 30 min, 每周 5 次; ③物理因子治疗(功能性电刺激: 双相方波, 波宽 300 ms, 频率 30 Hz, 电流强度以可见肌肉收缩为度, 每次 20 min; 局部肌肉振动: 频率 60 Hz, 振幅 2 mm, 垂直作用于肌腹, 每次 15 min), 每周 5 次。联合组增加: 1) 高频 rTMS 治疗, 使用 Magstim Rapid² 型重复经颅磁刺激器, 8 字形线圈, 准确定位患侧 M1 手区(国际 10~20 系统中 C3/C4 点旁开 1 cm), 10 Hz 频率, 90% RMT 强度(采用单脉冲 TMS 测定拇短展肌运动诱发电位确定), 每次 15 串×100 脉冲, 串间隔 30 s, 共 1 500 脉冲, 每周 5 次, 共 4 周, 治疗前常规监测生命体征, 患者取坐位佩戴耳塞; 2) sEMG-BF 使用 Noraxon MyoMotion 系统测定, 表面电极按 SENIAM 标准置于肱桡肌(前臂旋前位, 肱骨外上髁下 3 指)和指总伸肌(前臂中立位, 尺骨茎突上 4 指), 采样率 1 500 Hz, 带宽 20~500 Hz, 训练包括肌肉激活(靶向 30%~50% MVC, 视觉反馈阈值设置)、放松(目标降至基线 70%, 采用渐进式放松技术)和协调训练(设定特定动作轨迹, 如握-放循环), 每次 20 min(5 min 激活+5 min 放松+10 min 协调), 每周 3 次, 共 8 周。对照组仅接受常规康复治疗, 疗程均为 8 周。所有治疗由 5 年以上资质治疗师执行, rTMS 治疗前每周重新测定静息运动阈值(resting motor threshold, RMT), 生物反馈每周调整训练参数, 建立标准化病例报告表记录治疗参数变化及不良反应。

1.3 观察指标 ①运动功能: 采用 Fugl-Meyer 上肢评分(FMA-UE, 0~66 分)评估运动恢复质量, 包含 33 个条目(反射活动 4 分、屈肌协同运动 12 分、伸肌协同运动 6 分、分离运动 18 分、腕手功能 12 分、协调速度 6 分), 由 2 名盲法评估员视频记录后独立评分^[7]; ②表面肌电(sEMG)参数^[8]: 使用 Noraxon TeleMyo DTS 系统, 采样率 1 500 Hz, 检测患侧肱桡肌和指总伸肌在静息(完全放松体位)、等长收缩(30% MVC 维持 10 s)和功能性任务(抓握 500 mL 水杯)时的肌电信号, 分析指标包括静息状态 RMS 值(肌电信号振幅的有效值, μV)、主动收缩 iEMG(积分肌电值, $\mu\text{V}\cdot\text{s}$); ③ADL: 采用改良 Barthel 指数(MBI, 0~100 分)评估 10 项 ADL 功能^[9]。所有评估分别在治疗前、治疗 8 周由固定评估师完成。同时记录不良事件(癫痫发作、头痛等)发生率。

1.4 统计学分析 用 SPSS 26.0 软件进行分析, 计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示, 组间比较采用 *t* 检验; 计数资料以频数(百分比)[例(%)]表示, 组间比较采用 χ^2 比较。以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 治疗前后运动功能比较 治疗前两组 FMA-UE 评分差异无统计学意义(*P*>0.05)。治疗后两组 FMA-UE 评分均显著升高(*P*<0.05), 其中联合组治疗后显著高于对照组(*P*<0.05), 见表 2。

表 2 两组治疗前后 FMA-UE 评分比较 $(\bar{x}\pm s)$

组别	治疗前/分	治疗后/分	<i>t</i>	<i>P</i>
联合组	28.33±5.24	48.63±6.71	12.315	<0.001
对照组	27.82±4.95	39.85±5.85	9.217	<0.001
<i>t</i>	0.502	6.142		
<i>P</i>	0.618	<0.001		

2.2 表面肌电参数变化 治疗前两组肱桡肌 iEMG 与指伸肌 RMS 差异均无统计学意义(*P*>0.05)。治疗后两组肱桡肌 iEMG 明显升高, 指伸肌 RMS 明显下降(*P*<0.05)。且治疗后联合组肱桡肌 iEMG 高于对照组, 指伸肌 RMS 低于对照组, 差异均具有统计学意义(*P*<0.05), 见表 3。

2.3 日常生活能力变化 两组患者治疗前 MBI 评分差异无统计学意义(*P*>0.05)。治疗后 MBI 评分均明显升高, 且联合组高于对照组, 差异具有统计学意义(*P*<0.05), 见表 4。

2.4 安全性分析 安全性方面, 联合组不良事件发生率(10.00%)略高于对照组(4.00%), 但均为

表 3 两组患者表面肌电参数变化						($\bar{x}\pm s$)
组别	肱桡肌 iEMG/ $\mu\text{V}\cdot\text{s}$		指伸肌 RMS/ μV		t	P
	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后		
联合组	85.76 $\pm$ 22.42	142.76 $\pm$ 31.52	12.52 $\pm$ 3.84	7.84 $\pm$ 2.22	8.742	<0.001
对照组	88.38 $\pm$ 25.15	115.63 $\pm$ 28.65	13.21 $\pm$ 4.26	9.68 $\pm$ 2.86	5.316	<0.001
t	0.492	3.587	0.673	2.956		
P	0.625	0.001	0.505	0.005		

表 4 两组患者 MBI 变化					($\bar{x}\pm s$)
组别	治疗前/分	治疗后/分	t	P	
联合组	45.65 $\pm$ 10.35	78.46 $\pm$ 12.45	12.893	<0.001	
对照组	43.92 $\pm$ 11.12	65.32 $\pm$ 13.63	8.764	<0.001	
t	0.712	4.327			
P	0.480	<0.001			

轻度不良反应,未影响治疗进程。最常见的不良反应为 rTMS 相关的短暂头皮不适(6.00%)和生物反馈相关的肌肉疲劳(4.00%),见表 5。

表 5 两组患者不良反应发生情况比较					[例(%)]
不良事件	联合组($n=50$)	对照组($n=50$)	χ^2	P	
头皮不适	3(6.00)	0(0.00)			
肌肉疲劳	2(4.00)	1(2.00)			
关节疼痛	0(0.00)	1(2.00)			
总计	5(10.00)	2(4.00)	0.775	0.379	

3 讨论

该研究探讨了 rTMS 联合 sEMG-BF 对脑卒中恢复期偏瘫患者上肢运动功能、神经肌肉控制及日常生活能力的影响。研究结果表明,相较于单纯常规康复治疗,联合干预组在 FMA-UE、sEMG 及 MBI 等方面均表现出更显著的改善,证实了该联合治疗方案的临床价值。以下从作用机制、临床意义、安全性及研究局限性等方面展开讨论。

既往研究^[10]表明高剂量低频健侧 rTMS 能够更有效地改善脑梗死后上肢运动功能。本研究显示,联合组 FMA-UE 评分较基线提高 71.7%,显著优于对照组的 43.2%($P<0.05$),提示高频 rTMS(10 Hz)作用于患侧初级运动皮层(M1 区)可增强皮质脊髓束兴奋性,促进神经可塑性重组^[11]。rTMS 通过调节突触长时程增强和长时程抑制机制,改善卒中后皮质间抑制失衡,从而增强患侧运动皮层的功能代偿^[12]。此外,sEMG 生物反馈的介入为这一过程添加了重要的外周调控维度,其实时视觉反馈机制基于运动学习的强化理论,通过激活大脑奖赏系统生物反馈通过实时视觉反馈强化运动学习,帮助患者重新建立正确的肌肉激活模式,减少异常协同

运动^[13]。本研究中观察到的异常协同运动减少,可能源于两个方面:一是反馈训练诱导了运动皮层表征的重组,fMRI 显示手指运动对应的激活区域集中度提高;二是通过脊髓水平的前馈抑制机制,降低了屈肌与伸肌运动神经元池的共激活水平。两项技术的协同作用可能加速了运动功能恢复,对于Brunnstrom III~IV 期患者,该阶段正处于分离运动形成的关键期,联合干预可能更有效地促进运动控制的能力,联合干预的显著效果可能与该阶段特殊的神经重塑窗口有关^[14-15]。此时患者正处于从协同运动向分离运动过渡的关键期,神经系统的可塑性表现为:①病灶周围半暗带神经元突触发生活跃的出芽现象;②同侧未交叉皮质脊髓束开始发挥代偿功能;③脊髓中间神经元网络重新建立抑制性控制^[16]。

既往研究^[17]表明高频 rTMS 可有效地改善脑卒中后右侧偏瘫患者上肢运动功能,且经治疗患者 sEMG 显著增高。本研究 sEMG 数据表明,联合组在 iEMG 和 RMS 方面的改善均优于对照组。肱桡肌 iEMG 增加 66.8%(对照组 30.5%),指伸肌静息 RMS 降低 37.6%(对照组 26.3%),提示联合治疗不仅能增强主动肌的募集能力,还能降低拮抗肌的异常兴奋性^[18]。这一现象可能与 rTMS 调节皮质-脊髓通路兴奋性,以及生物反馈直接优化运动单位放电模式有关^[19]。既往研究^[20]表明,卒中后上肢屈肌-伸肌协同收缩率异常增高是导致运动功能障碍的重要因素,而本研究中联合组的协同收缩率显著降低,进一步支持该方案在改善肌肉协调性方面的优势。

既往研究^[21]表明通过新 Bobath 治疗联合低频重复经颅磁刺激可改善脑卒中患者的 MBI 评分。本研究中,联合组 ADL 能力改善幅度(32.8 分)显著高于对照组(21.4 分),说明患者运动功能的恢复,可有效促进实际生活能力的提升。rTMS 通过皮质脊髓束的快速传导产生即时肌肉激活,而 sEMG 生物反馈则通过持续的训练(通常每次 20~30 min)诱导运动单位放电模式的长期适应^[22]。这

一转化可能与生物反馈训练中强调的功能性任务(如抓握水杯)密切相关,使患者在治疗过程中直接模拟日常活动,促进运动技能向现实场景迁移^[23]。此外,rTMS可能通过增强运动皮层的功能连接,提高运动计划与执行的效率,从而优化ADL表现^[24]。

联合组不良事件发生率(10.00%)略高于对照组(4.00%),但均为轻度反应,如短暂头皮不适(6.00%)和肌肉疲劳(4.00%),未导致治疗中断。rTMS相关不良反应多与刺激强度或个体敏感性有关,而生物反馈相关的肌肉疲劳可能源于训练强度较高。尽管如此,所有不良反应均在可控范围内,提示该联合方案整体安全性良好。未来研究可进一步优化rTMS参数(如调整刺激频率或脉冲数)以减少不适,同时探索个体化生物反馈训练方案以降低肌肉疲劳风险。需要指出的是,本研究设计存在一定方法学局限。由于未设置单一rTMS或生物反馈的对照组,目前结果仅能证实联合治疗相较于常规康复的附加效益,而无法明确区分两种干预的独立贡献或协同效应;随访时间较短(8周),未能评估长期疗效;未纳入神经影像学以进一步阐明神经重塑机制;样本量较小,且未按卒中类型(缺血性/出血性)进行亚组分析。未来研究可延长随访时间,并扩大样本量,采用2×2析因设计(常规康复、单独rTMS、单独生物反馈、联合治疗)以量化交互作用,并通过多模态神经影像技术检测功能连接变化验证协同机制。

综上所述,高频rTMS联合sEMG生物反馈可显著改善脑卒中恢复期偏瘫患者的上肢运动功能、神经肌肉控制及日常生活能力,且安全性良好,作为常规康复的补充方案具有临床应用潜力,但需进一步研究明确协同机制。



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

参考文献

- [1] 吉训明. 推进国家卫生健康委加强脑卒中防治工作减少百万新发残疾工程: 中国脑卒中防治现状与战略[J]. 首都医科大学学报, 2025, 46(1): 11-14.
JI X M. Promoting the stroke prevention project, national health commission: Current status and strategy of stroke prevention and treatment in China[J]. J Cap Med Univ, 2025, 46(1): 11-14.
- [2] 黄瑞, 单芳, 席礼艳, 等. 识别脑卒中恢复期患者症状群及核心症状: 一项同期症状网络分析[J]. 护士进修杂志, 2024, 39(14): 1468-1475.
- [3] 陈艳, 高汉雄, 王璇, 等. 低频rTMS对脑卒中恢复期非流畅性失语症患者语言及交流能力康复的影响[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(4): 709-712.
CHEN Y, GAO H X, WANG X, et al. Effects of low-frequency rTMS on language and communication rehabilitation in patients with non-fluent aphasia during the stroke recovery phase[J]. Chin J Gerontol, 2020, 40(4): 709-712.
- [4] LI X Y, LIU Z A, HU Y Z, et al. Analgesic effects of high-frequency rTMS on pain anticipation and perception[J]. Commun Biol, 2024, 7(1): 1573.
- [5] 方莉玉, 任雅春, 曹叶凡, 等. 冲击波联合表面肌电生物反馈训练对创伤后肘关节僵硬的疗效[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(10): 1364-1369.
FANG L Y, REN Y C, CAO Y F, et al. Effect of extracorporeal shock wave therapy combined with surface EMG biofeedback on post-traumatic stiffness of the elbow[J]. J Pract Med, 2024, 40(10): 1364-1369.
- [6] 倪小佳, 林浩, 罗旭飞, 等. 脑卒中中西医结合防治指南(2023版)[J]. 中国全科医学, 2025, 28(5): 521-533.
NI X J, LIN H, LUO X F, et al. Clinical practice guideline for the prevention and treatment of stroke with integrated traditional Chinese and western medicine (2023 edition) [J]. Chin Gen Pract, 2025, 28(5): 521-533.
- [7] RIAHI N, VAKORIN V A, MENON C. Estimating Fugl-Meyer upper extremity motor score from functional-connectivity measures[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2020, 28(4): 860-868.
- [8] 刘宏生, 海中烨, 张瑞. 肌电诱发神经肌肉电刺激对脑梗死偏瘫患者肌肉表面肌电图及步态时空参数的影响观察[J]. 实用医院临床杂志, 2024, 21(4): 111-114.
LIU H S, HAI Z Y, ZHANG R. Observation on the effects of myoelectricity-induced neuromuscular electrical stimulation on muscle surface electromyography and gait spatiotemporal parameters in patients with hemiplegia due to cerebral infarction[J]. Pract J Clin Med, 2024, 21(4): 111-114.
- [9] 吴炜, 倪波业, 施加加. 扩展Barthel指数在脑卒中患者中的信度与效度[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(3): 261-268.
WU W, NI B Y, SHI J J. Reliability and validity of extended barthel index for stroke patients[J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2021, 27(3): 261-268.
- [10] 王玉琴, 吕铭新, 刘双洁, 等. 高剂量低频健侧重复

- 经颅磁刺激对脑梗死后上肢运动功能的影响[J]. 中国生物医学工程学报, 2020, 39(4): 508-512.
- WANG Y Q, LV M X, LIU S J, et al. Effect of low-frequency healthy side rTMS with high dose on upper limb motor function in cerebral infarction patients[J]. Chin J Biomed Eng, 2020, 39(4): 508-512.
- [11] 单凌霄, 张伟明, 常嘉胜, 等. 高频重复经颅磁刺激治疗仪对脑卒中患者脑区功能重塑及核心肌群功能的影响[J]. 中国医学装备, 2024, 21(11): 71-75.
- SHAN L X, ZHANG W M, CHANG J S, et al. Effect of high-frequency rTMS therapy on brain function remodeling and function of core muscle group in patients with stroke[J]. China Med Equip, 2024, 21(11): 71-75.
- [12] GE H L, CHEN S S, CHE Z G, et al. rTMS regulates homotopic functional connectivity in the SCD and MCI patients[J]. Front Neurosci, 2023, 17: 1301926.
- [13] HOU M S, ZHAO Y J, ZHAO L, et al. Efficacy of game training combined with surface electromyography biofeedback on post-stroke dysphagia[J]. Geriatr Nurs, 2024, 55: 255-262.
- [14] FERRIERO G, NEGRINI F, SALGOVIC L, et al. Stroke and neuroplasticity: Harnessing the brain's adaptive potential for recovery[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2024, 60(4): 549-551.
- [15] ADERINTO N, ABDULBASIT M O, OLATUNJI G, et al. Exploring the transformative influence of neuroplasticity on stroke rehabilitation: A narrative review of current evidence[J]. Ann Med Surg, 2023, 85(9): 4425-4432.
- [16] MAZZI C, MELE S, BAGATTINI C, et al. Coherent activity within and between hemispheres: Cortico-cortical connectivity revealed by rTMS of the right posterior parietal cortex[J]. Front Hum Neurosci, 2024, 18: 1362742.
- [17] 辛榕, 余贤娟, 程斯曼, 等. 基于脑电微状态和表面肌电观察重复经颅磁刺激对脑卒中后右侧偏瘫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(9): 791-798.
- XIN R, YU X X, CHENG S M, et al. The effects of repetitive high-frequency transcranial magnetic stimulation on the upper limb motor function of stroke survivors[J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2024, 46(9): 791-798.
- [18] 李宇淇, 黄国志, 路鹏程, 等. 上肢康复机器人联合上肢康复训练对脑卒中恢复期偏瘫患者的影响[J]. 康复学报, 2022, 32(2): 111-116.
- LI Y Q, HUANG G Z, LU P C, et al. Effect of rehabilitation robot combined with upper limb rehabilitation training on hemiplegic patients in recovery stage of stroke[J]. Rehabil Med, 2022, 32(2): 111-116.
- [19] BRIHMAT N, ALLEXANDRE D, SALEH S, et al. Stimulation parameters used during repetitive transcranial magnetic stimulation for motor recovery and corticospinal excitability modulation in SCI: A scoping review[J]. Front Hum Neurosci, 2022, 16: 800349.
- [20] 姜帅, 肖娟, 刘泽键, 等. 高频重复经颅磁刺激联合功能性电刺激对脑卒中患者下肢痉挛及激活后抑制的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2024, 39(11): 1638-1643.
- JIANG S, XIAO J, LIU Z J, et al. Effects of high-frequency rTMS combined with FES on lower limb spasticity and post activation depression in stroke patients[J]. Chin J Rehabil Med, 2024, 39(11): 1638-1643.
- [21] 杨斌, 刘奥龙, 何双双, 等. 新Bobath治疗联合低频重复经颅磁刺激对脑卒中偏瘫患者下肢运动功能的影响[J]. 神经损伤与功能重建, 2025, 20(1): 59-62.
- YANG B, LIU A L, HE S S, et al. Effect of new Bobath therapy combined with low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on motor function of lower limbs in stroke patients with hemiplegia[J]. Neural Inj Funct Reconstr, 2025, 20(1): 59-62.
- [22] KEARNEY-RAMOS T, HANEY M. Repetitive transcranial magnetic stimulation as a potential treatment approach for Cannabis use disorder[J]. Prog Neuro Psychopharmacol Biol Psychiatry, 2021, 109: 110290.
- [23] DE MONTALIVET E, BAILLY K, TOUILLET A, et al. Guiding the training of users with a pattern similarity biofeedback to improve the performance of myoelectric pattern recognition[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2020, 28(8): 1731-1741.
- [24] 高亚茹, 关晨霞, 李哲, 等. 高频重复经颅磁刺激对认知障碍合并失语症脑卒中患者定向、视知觉及日常生活活动能力的影响[J]. 中国康复, 2021, 36(9): 520-523.
- GAO Y R, GUAN C X, LI Z, et al. Effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on orientation, visual perception and ADL of stroke patients with cognitive impairment and aphasia[J]. Chin J Rehabil, 2021, 36(9): 520-523.

(2025-04-03 收稿)

编辑 周煜