

·临床研究·

持续短阵脉冲刺激对脑卒中偏瘫患者静息态脑功能连接模式的影响*

蔡伟强¹ 李浩正^{1,2} 朱玉连^{1,4} 金涛^{1,2} 夏逸飞¹ 李艳³ 胡瑞萍¹ 吴毅¹

摘要

目的:采用功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)和神经电生理指标观察单回合持续短阵脉冲刺激(continuous theta burst stimulation, cTBS)对脑卒中偏瘫患者静息态脑功能连接模式的影响。

方法:选取脑卒中后偏瘫患者12例,采用自身交叉对照设计,在健侧M1区随机交替进行单回合cTBS经颅磁刺激干预和假刺激干预,两种干预方式间隔1周。每次干预前后采集健侧和患侧的运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)和fNIRS静息态数据。选择双侧背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)、初级运动皮质(primary motor cortex, M1)、辅助运动皮质(pre-motor and supplementary motor cortex, SMA)、初级躯体感觉皮质(primary somatosensory cortex, S1)、体感联合皮质(somatosensory association cortex, SAC)作为感兴趣区,分别做同源脑网络分析和异源脑网络分析,获得干预前后的脑功能连接图,观察运动网络功能连接模式的变化。

结果:与假刺激相比,cTBS经颅磁刺激干预后,健侧第一背侧骨间肌MEP显著下降,健侧M1区的同源网络功能连接及健侧M1-患侧SMA间功能连接较干预前显著下降,差异有显著性意义($P<0.05$)。

结论:cTBS经颅磁刺激能够影响脑卒中偏瘫患者运动网络的静息态功能连接模式,尤以健侧M1-患侧SMA间功能连接明显,可以为神经调控治疗新策略的制定提供靶点和依据。

关键词 脑卒中;偏瘫;功能性近红外光谱技术;静息态;功能连接

中图分类号:R743.3;R742.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2023)-07-0898-006

Effects of single-session continuous theta burst stimulation on the connectivity pattern of poststroke patients with hemiplegia/CAI Weiqiang, LI Haozheng, ZHU Yulian, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2023, 38(7):898—903

Abstract

Objective: To observe the effect of single-session continuous theta burst stimulation(cTBS) on the connectivity pattern of poststroke patients with hemiplegia using functional near-infrared spectroscopy(fNIRS) and neurophysiological parameters.

Method: For 12 patients with hemiplegia after stroke, a single session of cTBS intervention and false stimulation intervention was elicited on the healthy M1 area. The two intervention methods were a week apart. Motor-evoked potential (MEP) and resting-state fNIRS data were collected on the contralesional and lesional side before and after each intervention. The bilateral dorsolateral prefrontal lobe (DLPFC), primary motor cortex (M1), pre-motor and supplementary motor cortex (SMA), primary somatosensory cortex (PSC), somatosensory association cortex (SAC), were selected as regions of interest, homologous brain network and heterologous brain network were analyzed respectively to obtain brain functional connectivity maps before and after the intervention and the changes in the functional connectivity patterns of the motor networks were observed.

Result: Compared with the sham stimulation, the MEP of the first dorsal muscle in the contralesional side de-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.07.005

*基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFC2004200);上海市科技创新行动计划课题(20412420200)

1 复旦大学附属华山医院康复医学科,上海市,200041; 2 上海中医药大学康复医学院; 3 山东第一医科大学; 4 通讯作者
第一作者简介:蔡伟强,男,初级治疗师; 收稿日期:2022-12-28

creased significantly, and the functional connectivity of the homologous network in the M1 region of the contralesional side and the functional connectivity of the contralesional side M1-lesional side SMA decreased significantly with a statistically significant difference ($P < 0.05$).

Conclusion: cTBS can affect the resting-state functional connectivity pattern of motor network in stroke patients with hemiplegia, especially in the contralesional side M1-lesional side SMA, which can provide the target and basis for the development of new neuromodulation strategies.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai, 200041

Key word stroke; hemiplegia; functional near-infrared spectroscopy; resting state; functional connectivity

脑卒中是一种具有高发病率、高复发率、高残疾率和高死亡率等特点的疾病。在中国,脑卒中已成为导致成年居民死亡和残疾的首位病因,现患者人数高居世界首位^[1]。随着医学水平不断的发展,脑卒中的诊断和治疗水平均有显著的提升,但其致残率在存活者中高达75%以上,超过60%的脑卒中患者残留不同程度的运动功能障碍^[2]。虽然近年来神经康复技术不断发展,但目前现有物理治疗技术多为外周刺激技术,然而康复疗效仍不理想,大量患者仍无法重返社会,积极探索卒中康复治疗新技术、与现有技术相结合以提高临床疗效十分必要。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)是一种新兴的无创性脑调控治疗和检测技术,目前已逐渐被广泛应用在卒中后偏瘫的康复评定和治疗中^[3-5]。持续短阵脉冲刺激(continuous theta burst stimulation, cTBS)是rTMS脉冲发放的一种新形式,也是经颅磁刺激的一种。TBS使用3个脉冲以50Hz传递的刺激模式,每200ms重复1次,cTBS经颅磁刺激是一个连续不间断的40s的串(600个脉冲),cTBS经颅磁刺激被观察到在健康人中可使运动诱发电(MEPs)的振幅降低^[6-7],常施加于健侧以促进卒中后偏瘫患者的康复^[8]。但卒中后偏瘫患者对于cTBS经颅磁刺激的治疗反应有所不同,多需在长期干预后才能确定。这是由于目前观察疗效多采用运动功能相关量表在干预前后进行评估,而量表评估的敏感性相对较低,无法体现cTBS治疗的即时效应。这样不利于及时调整和选择最适合卒中后偏瘫患者的rTMS治疗方案。因此,需要寻求新的生物指标如神经影像学、神经电生理指标等来为神经调控治疗方案的制定提供依据和参考。

功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)是一种非侵入性的光学

成像技术,通过观测大脑中氧合血红蛋白(oxyhemoglobin, HbO)和脱氧血红蛋白(reduced hemoglobin, HbR)的变化情况来间接观察大脑的神经活动,fNIRS设备的便携性和低成本突出了这种成像方式在研究卒中后功能障碍患者的潜在临床价值^[9]。同时我们的前期研究证明了fNIRS采集到的静息态数据分析大脑运动网络功能连接的可行性和准确性^[10-11]。

本研究中,我们拟对一组卒中后偏瘫患者进行单侧健侧cTBS经颅磁刺激及自身交叉假刺激对照干预,并在干预前后利用fNIRS采集患者脑功能活动数据,利用单脉冲经颅磁刺激检测患者双侧的运动诱发电位(motor evoked potential, MEP),分析cTBS经颅磁刺激干预前后运动相关脑网络功能连接模式的变化,以期从脑功能连接角度阐释cTBS干预对脑功能活动的调节效应,为开发卒中后偏瘫患者治疗新技术提供参考和依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究选取2021年1月—2022年5月在复旦大学附属华山医院康复医学科病房住院的12例卒中患者,入选病例均符合《中国各类主要脑血管病诊断要点2019》标准,并经头颅CT或MRI检查确诊。纳入标准:①年龄为40—80岁;②首次发生的单侧大脑半球脑梗死/脑出血,脑出血患者未曾行颅脑手术;③病程 ≥ 4 周,且存在运动功能障碍;④Fugl-Meyer运动功能评分 ≤ 95 分。排除标准:①病情不稳定及生命体征不稳定患者;②头部有皮肤破损或颅骨缺损者;③严重认知障碍,无法配合fNIRS数据采集者;④既往患有帕金森病、周围神经病变等其他可致运动功能障碍的患者;⑤既往有癫痫病史或癫痫家族史者;⑥体内有金属起搏器、脑内有金属植入物、耳

蜗植入物等不适合进行经颅磁刺激治疗者。所有患者或其直系亲属理解并签署知情同意书。本研究获

复旦大学附属华山医院伦理委员会批准,临床注册号为ChiCTR2000039802。患者一般资料见表1。

表1 入组患者一般资料

例数	性别(例)		卒中类型(例)		卒中部位(例)		患侧(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	病程 ($\bar{x}\pm s$,月)	Fugl-Meyer评分
	男	女	脑梗死	脑出血	皮质	皮质下	左	右			
12	9	3	8	4	4	8	6	6	59.58±11.82	3.08±2.02	49.5±20.48

1.2 fNIRS 数据采集

使用38通道fNIRS成像设备NirSmart(丹阳慧创,中国),头帽探头基于10/20国际标准导联设计,包括24个探头,24个光源,构成38个采集通道,采集患者静息态脑网络数据。探头与光源间距离均值为30mm(29mm—31mm),探头和光源中点下方脑区即为该通道的主要探测区域,参考Brodmann大脑皮质分区进行通道脑区标定^[12],通过记录不同的波长(760,850nm)的近红外光光强信号,采样频率为11Hz。

将38个通道划分至受试者大脑皮质的5个感兴趣的关键运动皮质(regions of interest, ROI)、背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)、初级运动皮质(primary motor cortex, M1)、辅助运动皮质(pre-motor and supplementary motor cortex, SMA)、初级躯体感觉皮质(primary somatosensory cortex, S1)、体感联合皮质(somatosensory association cortex, SAC)作为感兴趣区,并区分左右侧^[13]。如图1。

受试者保持在放松状态下,同时在舒适坐位安静5min后佩戴头帽。扫描期间,患者保持放松闭眼,但不能入睡,采集静息态数据8min^[14],采集流程如图2。

图1 fNIRS 成像头帽设计图

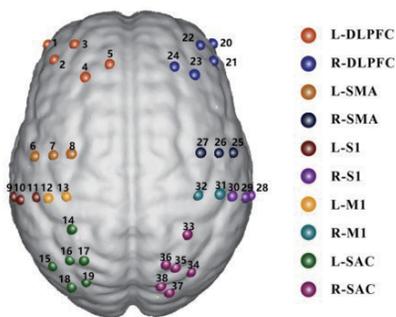


图2 fNIRS 采集流程图



1.3 神经电生理评定

在患者第一骨间背侧肌(first dorsal interosseus, FDI)贴放记录电极以记录MEP,给患者佩戴定位帽,以定位帽上M1作为初始刺激点,在该刺激点周边进行单脉冲经颅磁刺激来确定热点位置(同一阈上强度下能引出最大MEP波幅的刺激位点)并做标记。在热点位置给予单脉冲经颅磁刺激分别检测患者的静息运动阈值强度(resting motor threshold, RMT)和活动运动阈值强度(active motor threshold, AMT)。确定RMT后,以120%RMT在大脑M1的热点位置进行单脉冲经颅磁刺激,在FDI记录MEP^[15]。对每位患者的健手和患手在cTBS经颅磁刺激和假刺激干预前后均进行记录。

1.4 干预方法

本研究设计为前瞻性自身交叉对照临床研究,患者、评定人员所涉及的医师和治疗师均未被告知分组情况以减少偏倚,仅实施磁刺激干预的治疗师知晓患者的分组。每位受试者接受间隔1周的单回合健侧M1 cTBS干预或假刺激干预,干预顺序随机。

1.4.1 cTBS经颅磁刺激干预:磁刺激干预采用YRD CCY-IA型磁场刺激仪及八字线圈(中国,武汉依瑞德),由一名受过TMS专业培训的康复医师进行操作。首先参照Mills KR等^[23]方法测定运动阈值。每次干预前,采用定位帽进行大致运动皮质定位,同时根据健侧FDI记录到的MEP波幅作为依据寻找在未受损侧大脑M1的体表区域的热点位置(同一阈上强度下能引出最大MEP波幅的刺激位点)并做标记。将八字线圈与颅骨表面相切,线圈的中心置于健侧M1区热点位置,刺激强度为80%AMT。cTBS经颅磁刺激刺激参数为:丛内频率50Hz,每丛刺激个数为3个,丛间频率5Hz,共600个脉冲,为时40s。

1.4.2 假刺激干预:假刺激组与cTBS经颅磁刺激对照组的干预参数和刺激部位相同,假刺激线圈置

于健侧M1区,干预时患者能听到机器声音,但线圈无电流输出,不产生治疗效应。

1.5 fNIRS 数据处理:采用 NirSpark^[16]近红外数据处理软件分析 NIRS 信号中的光强,将原始光强信号转换成光密度曲线,并依据修正的 Beer-Lambert 定律,计算血氧浓度。在数据分析前,使用带通滤波消除原始数据中的运动伪迹和生理波动等引起的基线飘移。统一对右侧病灶患者的数据进行镜像翻转^[17-18],翻转后所有患者的健侧 NIRS 数据均位于左侧,患侧 NIRS 数据均位于右侧。同时由于 HbO 的信噪比优于 HbR^[19],故本文后续分析仅使用 HbO 的数据。静息态功能连接分析(functional connectivity, FC)通过提取患者在不同状态下的 HbO 数据,统计时间序列上各脑区通道的 HBO 含量,对每个通道时间序列上的 HBO 浓度值进行 Pearson 相关分析,得到通道之间的相关系数,定义此 Pearson 相关系数为相应通道对应脑区的功能连接强度。在大脑皮质功能连接分析中,使用按时间序列平均的 HBO 信号,通过 Pearson 相关系数计算每个个体 38 个通道之间的相关性, r 为 Pearson 相关系数,随后,利用 Fisher-z 转换,以使数据呈现正态性分布,并以此作为静息态功能连接强度指标。为了观察全脑运动网络的特征,我们将 fNIRS 中的每个通道设定为大脑静息状态网络中的节点^[20]。通过每个通道和所有其他通道之间功能连通性的计算,分辨网络边缘,得到一个拥有 38 个网络节点和 703 条网络边缘的静息态脑功能连接状态网络^[21]。将功能连通强度定义为每对通道在时域上的 Pearson 相关系数^[22]。

本研究以双侧 DLPFC、M1、SMA、S1、SAC 分别作为 10 个不同的独立同源运动网络,即感兴趣区(region of interest, ROI),异源运动网络功能连通性为连接每两个独立的运动网络之间的功能连接强度。10 个独立的运动网络两两组成 45 个异源运动网络,我们同时对 cTBS 经颅磁刺激干预和假刺激干预前后的同源运动网络及异源运动网络的功能连接强度的差值进行比较。

1.6 统计学分析

采用 SPSS 22.0 统计学软件进行数据处理,所有计量资料以均数±标准差表示。我们对 cTBS 经颅磁刺激干预前后的 MEP 进行标准化处理(干预后 MEP/

干预前 MEP)以减少个体差异,并对健侧 MEP 和患侧 MEP 在不同干预后的变化进行比较。采用配对样本 t 检验比较患者单回合干预前后的 MEP,采用单因素方差分析比较不同干预方法所引起功能连接强度和 MEP 的变化,以 $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

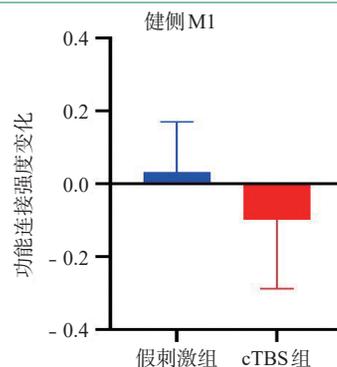
2.1 cTBS 经颅磁刺激干预和假刺激干预前后全脑功能连通性的比较

假刺激干预前后功能连接强度差值为 0.01 ± 0.11 ,cTBS 经颅磁刺激干预前后功能连接强度的差值为 0.49 ± 0.20 ,两组间差异无显著性意义($P > 0.05$)。

2.2 cTBS 经颅磁刺激干预和假刺激干预前后同源运动网络功能连通性的比较

两种干预方法所引起的功能连接强度的变化在健侧 M1 区的差异有显著性意义($P < 0.05$),见图 3。

图3 cTBS 经颅磁刺激干预和假刺激干预对同源运动网络功能连通性影响的差异



2.3 cTBS 经颅磁刺激干预和假刺激干预前后异源运动网络功能连通性的比较

假刺激干预前后功能连接强度差值与 cTBS 刺激干预前后功能连接强度差值在患侧 M1 区-健侧 SMA 区存在差异,且差异有显著性意义($P < 0.05$),见图 4。

2.4 cTBS 经颅磁刺激干预和假刺激干预前后 MEP 的变化

cTBS 经颅磁刺激干预后健侧 MEP 较干预前降低,且差异有显著性意义($t = 2.346, P = 0.040$),在假刺激干预前后的差异无显著性意义($t = 0.107, P = 0.918$);患侧 MEP 则在 cTBS 经颅磁刺激干预($t = 0.107, P = 0.918$)和假刺激干预前后($t = 1.076, P = 0.318$)差异均无显著性意义。见表 2。

图4 假刺激和cTBS经颅磁刺激干预前后异源运动网络功能连通性的比较

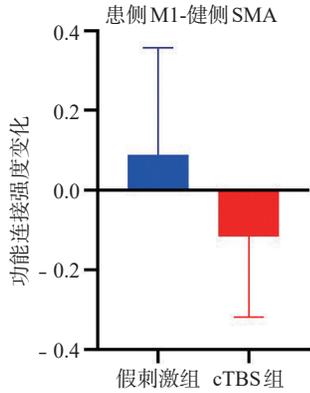


表2 cTBS经颅磁刺激和假刺激干预前后脑卒中偏瘫患者MEP的变化

干预方法	患侧MEP标准化值		t值	P值	健侧MEP标准化值		t值	P值
	干预前	干预后			干预前	干预后		
cTBS	1.000	0.666±0.688	0.107	0.918	1.000	0.641±0.441	2.346	0.040 ^①
假刺激	1.000	0.467±0.406	1.076	0.318	1.000	1.058±0.485	0.122	0.906
F值		4.048				0.741		
P值		0.038 ^①				0.399		

注:①P<0.05

效应的走向。因而本研究着眼于cTBS经颅磁刺激的单次效应,以便为cTBS经颅磁刺激用于脑卒中偏瘫患者的康复提供参考。

3.1 cTBS经颅磁刺激对健侧大脑皮质的抑制效应

本研究表明,与假刺激相比,cTBS经颅磁刺激施加于脑卒中患者健侧M1后,能够降低健侧上肢FDI的MEP,同时fNIRS数据显示,脑卒中患者健侧M1同源网络功能连通性显著降低,差异有显著性意义(P<0.05)。cTBS经颅磁刺激作为一种无创重复脑刺激方案,可抑制初级运动皮质的兴奋性^[26-27]。我们的前期研究在健康人中证实了这一效应,对一侧大脑运动皮质施加cTBS经颅磁刺激,能够降低健康人被刺激侧运动皮质的兴奋性^[28]。有学者报道,cTBS经颅磁刺激对皮质兴奋性的抑制在脑卒中后不久在对侧半球最为突出,并在随后的疗程中减弱^[29]。cTBS经颅磁刺激可能通过增加抑制性神经元兴奋性来诱导大脑皮质抑制,这与受刺激皮质中γ-氨基丁酸(GABA)浓度的增加有关^[30]。本研究结果表明cTBS经颅磁刺激能够降低脑卒中患者健侧M1的神经活动和功能连通性,且这种降低效应能够表现在外周神经电生理指标中。其他学者也有报道cTBS经颅磁刺激干预可引起所刺激脑区功能连通性下

3 讨论

国内外学者报道,rTMS包括cTBS经颅磁刺激能够有效改善脑卒中患者上肢运动功能和日常生活活动能力^[23-25]。cTBS经颅磁刺激已被应用于卒中患者的康复,以调节半球间失衡,然而cTBS经颅磁刺激在大脑远隔皮质的确切机制仍然不确定。目前的研究多关注cTBS经颅磁刺激对脑卒中患者长期干预的疗效或与之伴随的功能影像学改变,以探索脑卒中后运动网络功能重组的机制,而对cTBS经颅磁刺激的单次干预效应尤其是在脑卒中患者的单次干预研究较少。但一般来说,长期干预的效应是即时效应的累加,单次效应往往能够反映长期干预

降^[31-32]。但是这种抑制效应如何从抑制健侧传递至患侧以产生跨胼胝体效应,仍需进一步研究去探索。

3.2 cTBS经颅磁刺激对脑卒中偏瘫患者功能连通性的影响

本研究利用fNIRS技术分析了cTBS经颅磁刺激健侧干预前后脑卒中偏瘫患者全脑静息态功能连通性变化及十个感兴趣区间的异源网络连通性,结果表明,与假刺激对照相比,cTBS经颅磁刺激健侧干预后全脑功能连通性无明显差异,这可能是由于cTBS经颅磁刺激在单个脑区的单次效应不足以引起全脑功能连通性的变化;而异源运动网络功能连通性则在患侧M1区-健侧SMA区显著下降,差异有显著性意义(P<0.05)。提示作用于健侧M1的cTBS经颅磁刺激可能不仅对健侧产生影响,还能够同时影响脑卒中偏瘫患者的患侧运动皮质。cTBS经颅磁刺激对M1区的功能活动的抑制不仅局限直接干预的局部还可能引起干预脑区与其他空间上分离的脑区的功能连接下降。我们的前期研究结果显示在健康人群中,cTBS经颅磁刺激不仅能够抑制一侧运动皮质的兴奋性,还能够同时影响刺激对侧运动皮质的兴奋性,支持本研究的发现^[33-34]。同时,本研究也是首个利用fNIRS检测cTBS经颅磁刺激干预卒

中后偏瘫患者脑影像变化的研究,提供了来自卒中后偏瘫患者的功能影像学证据。

本研究结果还提示,患侧M1区-健侧SMA区间的功能连接可能在cTBS经颅磁刺激的治疗效应中起到重要作用。有学者采用握手任务范式以记录16例脑卒中患者和11例健康受试者的fNIRS数据,并应用网络控制理论进行分析,发现SMA在脑卒中患者中的模态可控性显著小于健康受试者,且M1的基线模态可控性与基线Fugl-Meyer评分显著相关^[35]。有学者认为,SMA是运动网络的关键节点^[36],参与运动行为的启动和控制,是有潜力的神经调控治疗靶点^[37],但当前对SMA的可塑性机制尚未阐明。在脑卒中偏瘫患者病程的不同时期及rTMS干预前后观测SMA与M1间功能连接的变化可能有利于认识SMA的可塑性变化及在脑卒中偏瘫恢复中的作用。

3.3 本研究的局限性

本研究的不足之处在于,基于fNIRS的静息态功能连通性仅局限于运动皮质和相关区域,无法获知来自皮质下的信息,且由于目前fNIRS设备支持的信号通道的数量有限,本研究仅对一个38通道的特定运动网络进行了分析;本研究仅为单次干预后的即时效应,功能连接基于特定ROI的时域信号,可能会忽略其他脑区间的次要连接。在进一步研究中,扩大通道数量和扩大样本量将有利于对cTBS经颅磁刺激用于脑卒中偏瘫患者的作用机制的深入探讨。

4 结论

cTBS经颅磁刺激能够影响脑卒中偏瘫患者运动网络的静息态功能连接模式,尤以健侧M1-患侧SMA间功能连接明显,可以为神经调控治疗新策略的制定提供靶点和依据。

参考文献

- [1] 王亚楠,吴思缈,刘鸣. 中国脑卒中15年变化趋势和特点[J]. 华西医学,2021,36(6):803—807.
- [2] Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review[J]. Lancet Neurol, 2009, 8(8): 741—754.
- [3] Dionisio A, Duarte IC, 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.
- [4] Krogh S, Jonsson AB, Aagaard P, et al. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation for improving lower

limb function in individuals with neurological disorders: a systematic review and meta-analysis of randomized sham-controlled trials[J]. J Rehabil Med, 2022, 54: m256.

- [5] Etoh S, Noma T, Takiyoshi Y, et al. Effects of repetitive facilitative exercise with neuromuscular electrical stimulation, vibratory stimulation and repetitive transcranial magnetic stimulation of the hemiplegic hand in chronic stroke patients[J]. Int J Neurosci, 2016, 126(11):1007—1012.
- [6] Suppa A, Huang YZ, Funke K, et al. Ten years of theta burst stimulation in humans: established knowledge, unknowns and prospects[J]. Brain Stimulation, 2016, 9(3):323—335.
- [7] Rounis E, Huang YZ. Theta burst stimulation in humans: a need for better understanding effects of brain stimulation in health and disease[J]. Exp Brain Res, 2020, 238(7—8):1707—1714.
- [8] Ackerley SJ, Stinear CM, Barber PA, et al. Combining theta burst stimulation with training after subcortical stroke[J]. Stroke, 2010, 41(7):1568—1572.
- [9] 吴毅. 功能性近红外光谱技术在脑卒中患者康复中的临床应用[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(11):1281—1283.
- [10] 范晨雨,李浩正,谢鸿宇,等. 基于功能性近红外光谱技术的健康青年人、老年人皮层脑网络静息态功能连接的特征研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(8):931—937.
- [11] 田婧,刘珏,何志杰,等. 基于功能性近红外光谱技术的脑卒中后上肢运动功能障碍患者单侧上肢训练和双侧上肢训练脑网络功能连接对比研究[J]. 中国康复理论与实践, 2022, 28(5):497—501.
- [12] Lancaster JL, Woldorff MG, Parsons LM, et al. Automated talairach atlas labels for functional brain mapping[J]. Hum Brain Mapp, 2000, 10(3):120—131.
- [13] 李浩正,范晨雨,谢鸿宇,等. 脑卒中后完全性失语症患者功能连接模式的功能性近红外光谱成像研究[J]. 中国康复医学杂志, 2021, 36(10):1233—1239.
- [14] Gusnard DA, Raichle ME, Raichle ME. Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain[J]. Nat Rev Neurosci, 2001, 2(10):685—694.
- [15] Rossini PM, Burke D, Chen R, et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord, roots and peripheral nerves: Basic principles and procedures for routine clinical and research application. An updated report from an I.F.C.N. Committee[J]. Clin Neurophysiol, 2015, 126(6):1071—1107.
- [16] Zou Y, Li J, Fan Y, et al. Functional near-infrared spectroscopy during motor imagery and motor execution in healthy adults[J]. Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2022, 47(7):920—927.
- [17] Mihara M, Fujimoto H, Hattori N, et al. Effect of neurofeedback facilitation on poststroke gait and balance recovery: a randomized controlled trial[J]. Neurology, 2021, 96(21):e2587—e2598.
- [18] Tamashiro H, Kinoshita S, Okamoto T, et al. Effect of baseline brain activity on response to low-frequency rTMS/intensive occupational therapy in poststroke patients with upper limb hemiparesis: a near-infrared spectroscopy study[J]. Int J Neurosci, 2019, 129(4):337—343.
- [19] Strangman G, Culver JP, Thompson JH, et al. A quantitative comparison of simultaneous BOLD fMRI and NIRS recordings during functional brain activation[J]. Neuroimage, 2002, 17(2):719—731.
- [20] Power JD, Cohen AL, Nelson SM, et al. Functional network organization of the human brain[J]. Neuron, 2011, 72(下转第923页)