

论 著

基于磁共振3D-ASL技术评价不同频率重复经颅磁刺激治疗脑卒中后认知功能障碍的效果*

路 芳 万桂玲 赵 曼

刘爱贤*

首都医科大学附属北京康复医院神经康复中心(北京 100144)

【摘要】目的 基于磁共振三维动脉自旋标记(3D-ASL)技术评价不同频率重复经颅磁刺激(rTMS)治疗脑卒中后认知功能障碍的效果。方法 选取2019年2月至2022年11月入院的脑卒中后认知功能障碍患者120例,按照随机数字表法分为对照组、低频组和高频组,每组40例;对照组予以假磁刺激治疗,低频组和高频组分别予以1Hz、10 Hz rTMS治疗,共治疗4周。比较各组认知功能、日常记忆能力、生活活动能力及运动功能,并应用3D-ASL技术检测各脑区脑血流量(CBF)。结果 治疗后3组患者蒙特利尔认知评估量表(MoCA)单项及总分较治疗前明显升高($P<0.05$),低频组与高频组MoCA单项及总分高于对照组,高频组视空间与执行功能、定向力维度评分及总分高于低频组($P<0.05$);治疗后3组患者Rivermead行为记忆量表(RBMT)和改良Barthel指数(MBI)评分较治疗前明显升高($P<0.05$),低频组与高频组RBMT和MBI评分高于对照组,高频组MBI评分高于低频组($P<0.05$);治疗后3组患者Fugl-Meyer运动功能评定量表(FMA)评分较治疗前明显升高($P<0.05$),低频组与高频组FMA评分高于对照组,高频组FMA评分高于低频组($P<0.05$);治疗后3组患者各脑区脑血流量(CBF)值较治疗前明显升高($P<0.05$),低频组与高频组两侧额叶、左侧额叶、左侧基底节CBF值高于对照组,高频组两侧额叶、左侧额叶、左侧基底节CBF值高于低频组($P<0.05$);治疗前患者MoCA评分分别与左/右侧额叶、颞叶、基底节CBF值呈正相关($r=0.683, 0.651, 0.485, 0.574, 0.642, 0.569, P<0.001$)。结论 高频rTMS治疗可明显改善脑卒中后认知功能和运动功能,可能与恢复额叶、颞叶、基底节脑血流灌注有关。

【关键词】脑卒中; 认知功能; 重复经颅磁刺激; 磁共振三维动脉自旋标记技术; 刺激频率

【中图分类号】R743

【文献标识码】A

【基金项目】首都医科大学附属北京康复医院院级课题(2021-032)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.10.008

Evaluation on Curative Effect of Different Frequencies of rTMS on Cognitive Dysfunction after Stroke Based on Magnetic Resonance 3D-ASL*

LU Fang, WAN Gui-ling, ZHAO Man, LIU Ai-xian*

Neurorehabilitation Center, Beijing Rehabilitation Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100144, China

ABSTRACT

Objective The aim of this study was to evaluate the curative effect of different frequencies of repeated transcranial magnetic stimulation (rTMS) on cognitive dysfunction after stroke based on magnetic resonance three-dimensional arterial spin labeling (3D-ASL). **Methods** A total of 120 patients with cognitive dysfunction after stroke treated in the hospital were enrolled between February 2019 and November 2022. According to random number table method, they were divided into control group (pseudo magnetic stimulation), low frequency group (1Hz rTMS) and high frequency group (10Hz rTMS), 40 cases in each group. All were treated for 4 weeks. The cognitive function, daily memory ability, activities of daily living and motor function in different groups were compared. The cerebral blood flow (CBF) in different brain areas was detected by 3D-ASL. **Results** After treatment, scores and total score of Montreal cognitive assessment (MoCA) were significantly increased in the three groups ($P<0.05$), which were higher in low frequency group and high frequency group than control group. The scores of visual space and executive function, and orientation, and total score were higher in high frequency group than low frequency group ($P<0.05$). After treatment, scores of Rivermead behavioral memory test (RBMT) and modified Barthel index (MBI) in the three groups were significantly increased ($P<0.05$), which were higher in low frequency group and high frequency group than control group. MBI score was higher in high frequency group than low frequency group ($P<0.05$). After treatment, score of Fugl-Meyer assessment (FMA) in the three groups was significantly increased ($P<0.05$), which was the highest in high frequency group, followed by low frequency group and control group ($P<0.05$). After treatment, CBF values of different brain areas in the three groups were significantly increased ($P<0.05$). CBF values of bilateral frontal lobes, left temporal lobe and bilateral basal ganglia were the greatest in high frequency group, followed by low frequency group and control group ($P<0.05$). Before treatment, MoCA score was positively correlated with CBF values of left/right frontal lobe, temporal lobe and basal ganglia ($r=0.683, 0.651, 0.485, 0.574, 0.642, 0.569, P<0.001$). **Conclusion** High-frequency rTMS can significantly improve cognitive function and motor function after stroke, which may be related to recovering cerebral blood perfusion in frontal lobe, temporal lobe and basal ganglia.

Keywords: Stroke; Cognitive Function; Magnetic Resonance Three-dimensional Arterial Spin Labeling; Repeated Transcranial Magnetic Stimulation; Stimulation Frequency

脑卒中是常见的脑组织循环系统障碍疾病,也是第二大致死病因^[1]。流行病学研究^[2]显示,全球每年有脑卒中患者1600万,其中病死人数近500万。近年来,我国脑卒中发病率攀升,高居全球第一,严重危害公众健康^[3]。临床观察发现,脑卒中除了诱发运动障碍,处于急性期及恢复期的患者还会出现不同程度认知功能障碍,不利于患者回归正常生活^[4]。重复经颅磁刺激(rTMS)通过脉冲磁场形成无痛电流,刺激大脑不同功能区域,介导神经电生理活动和脑内代谢,改善脑卒中患者认知、运动等功能障碍^[5]。磁共振三维动脉自旋标记(3D-ASL)可精确评估全脑血管灌注状态,已有研究^[6]表明,3D-ASL技术可灵敏显示与认知相关多个脑区的血流量变化,解释脑血流灌注对认知功能的影响。目前对于脑卒中后rTMS的治疗方案尚未有统一标准,本研究将应用3D-ASL技术评价不同频率rTMS对脑卒中后认知功能障碍的治疗效果,并探讨其潜在作用机制。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究符合赫尔辛基宣言,选取2019年2月至2022年11月入院的脑卒中后认知功能障碍患者120例。

纳入标准:符合脑卒中后认知功能障碍的诊断标准^[7];首次、单侧发病;年龄40~75岁;病情稳定,病程半年以内;轻中度认知功能障碍,可配合治疗及相关量表评定;患者签署知情同意书。排除标准:脑外伤、帕金森病等脑卒中以外因素所致认知功能障碍;合并其他中枢神经系统疾病或颅骨缺损;体内植入金属或电子仪器者;癫痫病史或家族史;滥用药物或酒精依赖者;生命体征危象。按照随机数字表法,将患者分为对照组、低频组和高频组,每组40例。

1.2 治疗方法 患者均接受基础药物及康复治疗,服用脑卒中二级预防药物,积极控制血压、血糖,口服改善认知功能药物盐酸多奈哌齐(江苏豪森药业公司,国药准字H20030472,规格:5mg×10片)5mg/d,连续服用4周,常规康复治疗包括运动、物理治疗及作业疗法等,并开展个体化认知康复训练,上述康复治疗每周5次,连续治疗4周。

【第一作者】路 芳,女,副主任医师,主要研究方向:神经内科。E-mail: zy8611@126.com

【通讯作者】刘爱贤,男,主任医师,主要研究方向:神经康复。E-mail: ml790319@126.com

对照组、低频组和高频组在上述治疗的基础上辅以不同rTMS治疗方案,康复治疗前,采用TD-10型经颅磁刺激仪(北京首都康达科技公司),患者放松靠坐于配套座椅上,在患侧运动皮层区头皮处相切放置8字线圈,连续施加刺激测定静息运动阈值(RMT),即10次中有5次以上可诱发电位振幅超过50 μ V的最低刺激强度。对照组予以假磁刺激治疗,线圈与头皮垂直放置,参数:频率为1Hz,强度为80% RMT,共1600个脉冲;低频组线圈与头皮相切放置,刺激部位为健侧前额叶背外侧皮层区(DLPFC),参数:频率为1Hz,强度为80%RMT,共1600个脉冲;高频组予线圈与头皮相切放置,刺激部位为患侧DLPFC,参数:频率为10Hz,强度为80%RMT,共2000个脉冲。各组每次治疗20min,每周治疗5次,共治疗4周。

1.3 疗效评价 治疗前、治疗4周后分别采用蒙特利尔认知量表(MoCA)^[8]、Rivermead行为记忆量表(RBMT)^[9]、改良Barthel指数(MBI)^[10]、Fugl-Meyer运动功能评定量表(FMA)^[11]评估患者认知功能、日常记忆能力、生活活动能力及运动功能,各评分越高

表明相关功能越好。

3D-ASL技术检测: 治疗前、治疗4周后采用Siga Twin Sprrd 3.0 T磁共振成像(MRI)扫描仪(美国GE公司)进行检查,患者取仰卧位,固定头部,行常规MRI扫描(T₁WI序列、T₂WI序列、扩散加权成像序列、磁敏感加权成像序列、磁共振血管成像等),获取三维结构和灌注数据,然后运用3D-ASL技术采集ASL功能像,参数:重复时间4587ms,恢复时间10.5ms,扫描野24cm $\times$ 24cm,矩阵512 $\times$ 8,层厚5.0mm,层距0mm,激励次数3。将图像传至GE AW4.7工作站,生成脑血流量伪彩图,勾画感兴趣区(约5~10mm²)获取脑血流量(CBF)值,见图1。上述图像处理与结果处理过程由2名资深影像科医师独立完成,并共同商议出最终结果。

1.4 统计学方法 应用软件SPSS 22.0分析,计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用t检验,多组间比较采用单因素方差分析,多重比较采用SNK-q检验;计数资料以n(%)表示,采用 χ^2 检验;相关性分析采用Pearson相关系数描述。以P<0.05为差异有统计学意义。

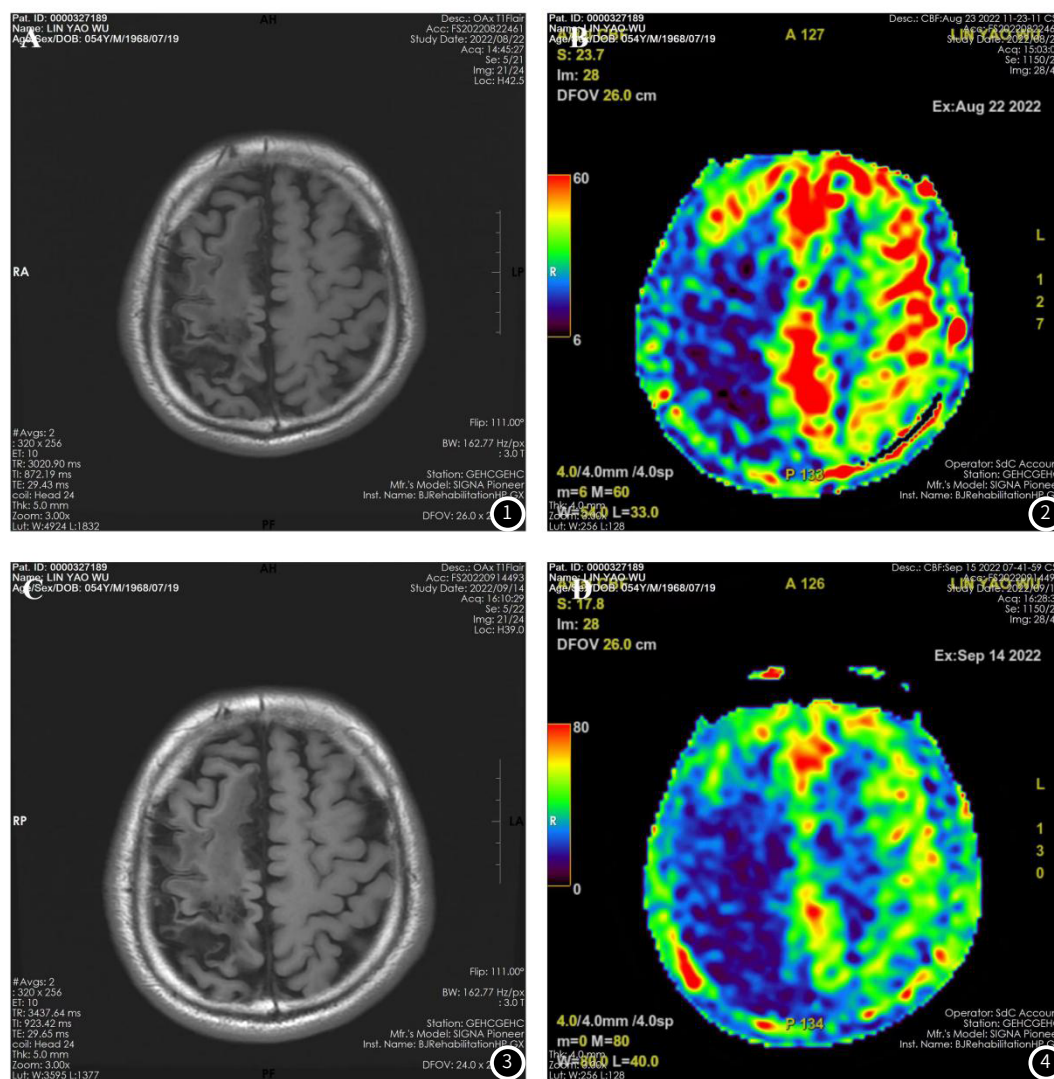


图1-图4 脑卒中后认知功能障碍患者rTMS前后影像对比;患者男,54岁,接受10Hz rTMS治疗;图1、3为治疗前后液体衰减反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)图;图2、4为治疗前后3D-ASL图。

2 结果

2.1 3组基线资料比较 3组基线资料的比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表1。

2.2 3组治疗前后认知功能比较 治疗前,3组患者MoCA单项及总分的比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后3组患者MoCA单项及总分较治疗前明显升高($P<0.05$),进一步比较治疗后组间结果显示,低频组与高频组MoCA单项及总分高于对照组,高频组视空间与执行功能、定向力维度评分及总分高于低频组($P<0.05$)。见表2。

2.3 3组治疗前后日常记忆能力和生活活动能力比较 治疗前,3组患者RBMT和MBI评分的比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后3组患者RBMT和MBI评分较治疗前明显升高($P<0.05$),进一步比较治疗后组间结果显示,低频组与高频组RBMT和MBI评分高于对照组,高频组MBI评分高于低频组($P<0.05$)。见表3。

2.4 3组治疗前后运动功能比较 治疗前,3组患者FMA评分的比较,差异无统计学意义($P>0.05$);治疗后3组患者FMA评分较治疗前明显升高($P<0.05$),进一步比较治疗后组间结果显示,低

频组与高频组FMA评分高于对照组，高频组FMA评分高于低频组(P<0.05)。见表4。

2.5 3组治疗前后脑血流CBF值比较 治疗前，3组患者各脑区脑血流CBF值的比较，差异无统计学意义(P>0.05)；治疗后3组患者各脑区CBF值较治疗前明显升高(P<0.05)，进一步比较治疗后组间结果显示，低频组与高频组两侧额叶、左侧颞叶、两侧基底节

CBF值高于对照组，高频组两侧额叶、左侧颞叶、左侧CBF值高于低频组(P<0.05)。见表5。

2.6 治疗前MoCA评分与各脑区脑血流CBF值的相关性分析 治疗前患者MoCA评分分别与左/右侧额叶、颞叶、基底节CBF值呈正相关(r=0.683、0.651、0.485、0.574、642、569，P<0.001)。

表1 3组基线资料比较[$\bar{x} \pm s$ 或n(%)]					
项目	对照组 (n=40)	低频组 (n=40)	高频组 (n=40)	F或 χ^2	P
年龄(岁)	58.34±6.15	59.78±6.89	59.11±7.24	0.452	0.637
男/女	26/14	24/16	27/13	0.507	0.776
病程(天)	56.84±9.81	54.36±10.25	57.43±10.76	1.004	0.369
卒中类型				0.779	0.677
脑梗死	34(85.00)	33(82.50)	31(77.50)		
脑出血	6(15.00)	7(17.50)	9(22.50)		
偏瘫侧				0.873	0.646
左侧	24(60.00)	20(50.00)	21(52.50)		
右侧	16(40.00)	20(50.00)	19(47.50)		
受教育年限(年)	9.74±2.86	9.29±2.72	9.56±3.03	0.249	0.780
认知功能障碍程度				0.251	0.882
轻度	12(30.00)	10(25.00)	11(27.50)		
中度	28(70.00)	30(75.00)	29(72.50)		

表2 3组治疗前后认知功能比较(分)					
项目	对照组(n=40)	低频组(n=40)	高频组(n=40)	F	P
视空间与执行功能					
治疗前	2.84±0.55	2.75±0.61	2.89±0.52	0.639	0.530
治疗后	3.43±0.64 [*]	3.84±0.70 ^{*a}	4.29±0.76 ^{*ab}	15.031	<0.001
命名					
治疗前	1.58±0.44	1.68±0.49	1.62±0.46	0.378	0.686
治疗后	2.17±0.49 [*]	2.46±0.58 ^{*a}	2.53±0.55 ^{*a}	4.974	0.008
语言					
治疗前	1.52±0.42	1.57±0.45	1.60±0.49	0.317	0.729
治疗后	2.29±0.54 [*]	2.59±0.61 ^{*a}	2.69±0.66 ^{*a}	4.305	0.016
注意力					
治疗前	2.86±0.56	2.94±0.52	2.91±0.57	0.216	0.806
治疗后	3.93±0.68 [*]	4.37±0.64 ^{*a}	4.63±0.73 ^{*a}	10.694	<0.001
延迟回忆					
治疗前	3.05±0.44	2.99±0.41	2.94±0.40	0.698	0.500
治疗后	3.97±0.51 [*]	4.28±0.64 ^{*a}	4.45±0.69 ^{*a}	6.204	0.003
定向力					
治疗前	2.87±0.48	2.92±0.52	2.97±0.45	0.427	0.654
治疗后	3.05±0.52 [*]	3.32±0.57 ^{*a}	3.68±0.50 ^{*ab}	14.182	<0.001
抽象思维					
治疗前	1.05±0.32	1.10±0.35	1.08±0.29	0.246	0.782
治疗后	1.37±0.55 [*]	1.45±0.51 [*]	1.48±0.56 [*]	0.443	0.643
总分					
治疗前	15.77±2.83	15.95±2.96	16.04±3.04	0.087	0.917
治疗后	20.21±3.06 [*]	22.31±3.28 ^{*a}	23.75±3.19 ^{*ab}	12.552	<0.001

注：与同组治疗前比较，^{*}P<0.05；与对照组比较，^aP<0.05；与低频组比较，^bP<0.05。(下表同)

表3 3组治疗前后日常记忆能力和生活活动能力比较(分)					
项目	对照组(n=40)	低频组(n=40)	高频组(n=40)	F	P
RBMT评分					
治疗前	12.35±2.68	11.87±2.91	12.24±2.74	0.328	0.721
治疗后	15.19±3.21 [*]	16.85±3.34 ^{*a}	17.32±3.09 ^{*a}	4.846	0.010
MBI评分					
治疗前	62.42±5.32	63.37±5.88	63.85±6.16	0.630	0.534
治疗后	66.27±6.47 [*]	70.69±6.12 ^{*a}	74.24±6.94 ^{*ab}	15.024	<0.001

表4 3组治疗前后运动功能比较(分)					
项目	对照组(n=40)	低频组(n=40)	高频组(n=40)	F	P
上肢FMA评分					
治疗前	24.32±5.16	23.73±5.49	24.20±5.78	0.129	0.879
治疗后	31.58±6.28 [*]	34.62±6.55 ^{*a}	37.75±6.94 ^{*ab}	8.752	<0.001
下肢FMA评分					
治疗前	11.65±2.75	11.91±2.53	11.28±2.40	0.610	0.545
治疗后	16.89±3.23 [*]	19.24±3.61 ^{*a}	21.75±3.87 ^{*ab}	18.439	<0.001

表5 3组治疗前后脑血流CBF值比较(mL/min/100g)					
项目	对照组(n=40)	低频组(n=40)	高频组(n=40)	F	P
左额叶					
治疗前	42.86±5.58	43.71±5.94	43.35±6.23	0.208	0.813
治疗后	45.67±6.29 [*]	48.32±5.63 ^{*a}	50.95±5.81 ^{*ab}	7.964	0.001
右额叶					
治疗前	45.84±5.24	44.73±4.93	44.51±5.16	0.778	0.462
治疗后	48.41±5.86 [*]	55.67±6.48 ^{*a}	58.95±6.11 ^{*ab}	30.715	<0.001
左颞叶					
治疗前	41.35±4.36	41.98±4.51	42.21±4.89	0.376	0.687
治疗后	43.94±5.22 [*]	47.97±6.21 ^{*a}	51.27±5.85 ^{*ab}	16.166	<0.001
右颞叶					
治疗前	30.82±4.19	31.55±3.86	31.98±4.34	0.805	0.450
治疗后	33.46±4.85 [*]	34.28±5.23 [*]	34.93±5.14 [*]	0.842	0.433
左基底节					
治疗前	41.25±5.87	40.86±5.43	40.31±5.19	0.295	0.745
治疗后	46.78±5.35 [*]	51.96±6.04 ^{*a}	55.62±6.27 ^{*ab}	22.673	<0.001
右基底节					
治疗前	41.85±5.75	40.44±5.28	41.33±5.53	0.667	0.515
治疗后	44.67±6.21 [*]	47.65±6.64 ^{*a}	49.84±7.05 ^{*a}	6.106	0.003

3 讨论

rTMS是一种非侵入性脑刺激技术,其操作简单,基本无副作用。不同频率rTMS对神经细胞有不同的刺激效果,>1Hz的高频刺激可促进大脑兴奋,而≤1Hz的低频刺激作用相反^[12]。本研究选取两种常用频率1Hz和10Hz,分别刺激健侧、患侧DLPFC,以筛选更佳治疗方案。结果显示,3组患者治疗后认知功能、日常记忆能力、生活活动能力及运动功能均有明显改善,以高频组改善效果最显著,低频组次之,对照组最次,与既往研究^[13-14]结果基本相符。说明常规药物及康复治疗可改善脑卒中后认知和运动功能,提高患者生活自理能力,辅rTMS治疗具有增效作用。进一步比较治疗后组间结果发现,高频组在认知功能中视空间与执行功能、定向力方面的改善效果优于低频组,运动功能恢复情况也更佳,可能是高频刺激可更好促进大脑皮层兴奋^[15]。

脑组织是体内对氧供需求最高的器官,脑卒中后脑区伴有脑血供改变,可通过评估脑组织灌注情况,辅助判断患者病情、疗效及预后情况^[16]。目前,脑灌注成像技术很多,大致分为可弥散示踪剂和不可弥散示踪剂成像两类,不依赖于血脑屏障的自由扩散示踪剂可更准确评估颅内梗塞后再灌注情况,鉴别卒中原因,但150水或99锝标记的六甲基丙二胺胍具有一定的放射性损伤^[17-18]。3D-ASL技术以动脉中水分子作为内源性标记物,无需注射对比剂;采用快速自旋回波采集、Spiral采集等新技术,可有效克服磁敏感及运动伪影^[19]。研究^[20]报道,通过3D-ASL技术检测脑区CBF值,与脑灌注评估“金标准”具有很高的致性。

Zong等^[21]研究显示,rTMS治疗可能通过减轻血脑屏障通透性,改善血管结构、形态和灌注损伤,从而提高脑组织局部血流灌注,从而促进大脑皮质功能恢复。本研究采用3D-ASL技术评价rTMS治疗前后患者脑灌注情况,结果显示,rTMS治疗可明显提高额叶、颞叶、基底节CBF值,且高频刺激效果更好。相分析结果发现,治疗前患者MoCA评分分别与左/右侧额叶、颞叶、基底节CBF值呈正相关。上述结果表明,rTMS治疗可能通过增加脑区血流量,改善脑供血,从而促进脑认知和运动网络恢复。

综上所述,高频rTMS治疗可明显改善脑卒中后认知功能和运动功能,可能与恢复额叶、颞叶、基底节脑血流灌注有关。但本研究受条件限制,样本量较小,还需要继续探索rTMS治疗的最佳刺激部位及疗程,结合其他功能影响学手段深入分析其确切作用机制。

参考文献

- [1]江滨.脑卒中后并发症流行特征分析及对基层管理优化建议[J].中国全科医学,2021,24(12):1445-1453.
- [2]Virani SS,Alonso A,Aparicio HJ,et al.Heart disease and stroke statistics—2021 update:a report from the American Heart Association[J].Circulation,2021,143(8):e254-e473.
- [3]《中国脑卒中防治报告2020》编写组王陇德.《中国脑卒中防治报告2020》概要[J].中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.
- [4]Einstad MS,Saltvedt I,Lydersen S,et al.Associations between post-stroke motor and cognitive function:a cross-sectional study[J].BMC Geriatr,2021,21(1):103.

- [5]李闻宇,李江,王强,等.经颅直流电刺激和重复经颅磁刺激治疗脑卒中后认知功能障碍的研究进展[J].中华物理医学与康复杂志,2022,44(4):369-372.
- [6]李云霞,彭琨,李俊彤,等.3D-ASL在中重度OSAHS患者脑血流灌注及认知功能改变的应用研究[J].中国医学计算机成像杂志,2022,28(1):13-18.
- [7]中华医学会神经病学分会.中国各类主要脑血管并诊断要点2019[J].中华神经科杂志,2019,52(9):710-715.
- [8]McDicken JA,Elliott E,Blayney G,et al.Accuracy of the short-form Montreal cognitive assessment:systematic review and validation[J].Int J Geriatr Psychiatry,2019,34(10):1515-1525.
- [9]Steibel NM,Olichik MR,Yassuda MS,et al.Influence of age and education on the Rivermead behavioral memory test (RBMT) among healthy elderly[J].Dement Neuropsychol,2016,10(1):26-30.
- [10]Ohura T,Hase K,Nakajima Y,et al.Validity and reliability of a performance evaluation tool based on the modified Barthel Index for stroke patients[J].BMC Med Res Methodol,2017,17(1):131.
- [11]Deakin A,Hill H,Pomeroy VM.Rough guide to the Fugl-Meyer assessment[J].Physiotherapy,2003,89(12):751-763.
- [12]Goldsworthy MR,Hordacre B,Rothwell JC,et al.Effects of rTMS on the brain:is there value in variability[J].Cortex,2021,139:43-59.
- [13]张颖彬,莫林宏,聂忆秋,等.近红外脑功能成像在重复经颅磁刺激治疗脑卒中后轻度认知功能障碍的应用[J].首都医科大学学报,2020,41(6):965-969.
- [14]Starosta M,Cichoń N,Saluk-Bijak J,et al.Benefits from repetitive transcranial magnetic stimulation in post-stroke rehabilitation[J].J Clin Med,2022,11(8):2149.
- [15]毛晶,洪永锋,冯小军,等.不同频率重复经颅磁刺激对脑卒中患者认知和运动的影响[J].中华全科医学,2022,20(6):1-5.
- [16]张建雷,张睿,潘菲,等.脑灌注成像预测机械取栓后急性缺血性脑卒中患者出血转化风险的价值[J].中国临床医学影像杂志,2021,32(11):761-765.
- [17]Slawski Md DE,Albers Md GW.Cerebral perfusion imaging for intravenous thrombolysis treatment[J].Top Magn Reson Imaging,2021,30(4):205-209.
- [18]欧颖晖,蔡小龙,楼菁菁,等.99mTc-ECD SPECT脑显像NeuroGamTM诊断早期认知障碍[J].复旦学报(医学版),2022,49(5):753-758.
- [19]Yang Z,Rong Y,Cao Z,et al.Microstructural and cerebral blood flow abnormalities in subjective cognitive decline plus:diffusional kurtosis imaging and three-dimensional arterial spin labeling study[J].Front Aging Neurosci,2021,13:625843.
- [20]Takeuchi K,Isozaki M,Higashino Y,et al.The utility of arterial transit time measurement for evaluating the hemodynamic perfusion state of patients with chronic cerebrovascular stenosis or occlusive disease:correlative study between MR imaging and 150-labeled H2O positron emission tomography[J].Magn Reson Med Sci,2022,2022:12.
- [21]Zong X,Li Y,Liu C,et al.Theta-burst transcranial magnetic stimulation promotes stroke recovery by vascular protection and neovascularization[J].Theranostics,2020,10(26):12090-12110.

(收稿日期:2023-01-15)

(校对编辑:孙晓晴)