

· 临床研究 ·

基于双峰平衡恢复模型探究重复经颅磁刺激治疗脑卒中患者上肢运动功能障碍

王璐¹ 钟明华² 高呈飞¹ 朱其秀¹ 周锐志³ 柳希芹¹ 汤乃苏¹ 冯晓晨¹

¹青岛大学附属医院康复医学科, 青岛 266000; ²青岛市第八人民医院康复科, 青岛 266121;

³青岛大学附属医院放射科, 青岛 266000

通信作者: 朱其秀, Email: szjqxsx@163.com

【摘要】 目的 观察皮质脊髓束完整性对重复经颅磁刺激(rTMS)治疗脑卒中患者上肢运动障碍的影响。**方法** 选取在我院治疗的脑卒中恢复期伴偏侧上肢运动功能障碍患者作为研究对象, 首先通过弥散张量成像技术(DTI)重建患者双侧皮质脊髓束(CST), 分别选取 CST 完整性高($rFA>0.5$)及 CST 完整性低($rFA\leq 0.5$)患者各 30 例, 采用随机数字表法将其进一步细分为高频组(10 例)、低频组(10 例)及对照组(10 例)。所有患者均给予传统康复干预, 在此基础上高频组、低频组患者分别给予健侧 M1 区 5 Hz 或 1 Hz rTMS 治疗。于干预前、干预 3 周后分别采用 Fugl-Meyer 运动功能量表上肢部分(FMA-UE)、Wolf 运动功能量表(WMFT)及改良 Barthel 指数(MBI)对各组患者进行疗效评价。**结果** 对 CST 完整性高各亚组患者比较后发现, 治疗后高频组、低频组及对照组 FMA-UE、WMFT、MBI 评分均较治疗前明显改善($P<0.05$), 并且低频组 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分[分别为(38.10±5.71)分、(43.20±5.32)分和(78.00±11.35)分]亦显著优于高频组及对照组水平($P<0.05$)。对 CST 完整性低各亚组患者比较后发现, 治疗后高频组 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分[分别为(12.00±1.40)分、(15.10±1.99)分和(49.00±5.68)分]均优于治疗前及低频组、对照组水平($P<0.05$)。**结论** 对于 CST 完整性高的患者, 低频 rTMS 刺激健侧半球 M1 区对改善脑卒中患者上肢运动功能可能更好; 对于 CST 完整性低的患者, 高频 rTMS 刺激健侧半球 M1 区对促进脑卒中患者上肢运动功能恢复可能更有效。

【关键词】 脑卒中; 皮质脊髓束; 弥散张量成像; 重复经颅磁刺激

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.005

Corticospinal tract integrity and the upper limb motor functioning of stroke survivors treated with repetitive transcranial magnetic stimulation

Wang Lu¹, Zhong Minghua², Gao Chengfei¹, Zhu Qixiu¹, Zhou Ruizhi³, Liu Xiqin¹, Tang Naisu¹, Feng Xiaochen¹

¹Department of Rehabilitation Medicine, ³Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266003, China; ²Department of Rehabilitation Medicine, The 8th People's Hospital of Qingdao, Qingdao 266121, China

Corresponding author: Zhu Qixiu, Email: szjqxsx@163.com

【Abstract】 Objective To observe any relationship between corticospinal tract integrity and the upper limb motor function of stroke survivors treated with repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). **Methods** Bilateral corticospinal tracts (CSTs) were reconstructed in ischemic or hemorrhagic stroke survivors with upper limb motor dysfunction using diffusion tensor imaging (DTI). Thirty patients with good CST integrity ($rFA>0.5$) and 30 with $rFA\leq 0.5$ were further divided into a high frequency rTMS group (HF, $n=10$), a low frequency group (LF, $n=10$), and a control group ($n=10$). All groups were given routine rehabilitation, while the high and low frequency groups were additionally provided with 5Hz and 1Hz rTMS respectively applied over the M1 area of the contralesional hemisphere. Before and after 3 weeks of treatment, all of the subjects were evaluated using the Fugl-Meyer upper extremity scale (F-M UE), the Wolf Motor Function Test (WMFT) and the Modified Barthel Index (MBI). **Results** For the high CST integrity group, significant improvement was observed in the average scores of all measurements, with the average FMA-UE, WMFT and MBI scores of the LF group [(38.10±5.71), (43.20±5.32) and (78.00±11.35)] significantly better than those of the other 2 groups. Among the low CST integrity group, the HF subgroup showed greater improvement than the other 2 on average. **Conclusions** For patients with good CST integrity, LF-rTMS over the contralesional cortex is superior to HF-rTMS in promoting upper limb motor function, while for patients with low CST integrity HF-rTMS over the contralesional cortex has a better effect than LF-rTMS or sham

stimulation in terms of improving upper limb motor function after a stroke.

[Key words] Stroke; Corticospinal tract; Diffusion tensor imaging; Transcranial magnetic stimulation
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.06.005

脑卒中(stroke)是我国发病率最高的致残性疾病。卒中后常遗留严重的肢体功能障碍,约 80%脑卒中患者出现上肢偏瘫,表现为偏侧肌无力、痉挛、协调性差及失用,严重影响患者生活质量^[1]。近年来重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)作为一种非侵入性神经调控技术,能通过电磁感应影响大脑皮质神经电活动,改变皮质可塑性,诱发的动作电位经皮质脊髓束(corticospinal tract, CST)向外周神经元及靶肌传导,是治疗脑卒中后上肢运动功能障碍的新技术之一^[2]。

相关研究发现, CST 是调节机体随意运动的主要神经通路,双峰平衡模型理论认为 CST 保留程度能影响半球间竞争模型及代偿模型间的主从关系^[3],提示临床可根据 CST 完整性情况制订恢复或代偿性神经调控策略。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是一种能显示脑白质神经纤维束的无创磁共振成像技术,利用水分子在神经纤维组织中各向异性扩散原理进行成像,可对 CST 进行三维重建,从而直观显示病灶与 CST 的空间位置关系,为观测该神经纤维束形态结构完整性提供了一种有效途径^[4]。基于此,本研究旨在观察高、低频 rTMS 治疗不同程度 CST 损伤患者的临床疗效,为指导临床科学使用 rTMS 提供参考资料。

对象与方法

一、对象及分组

患者入选标准包括:①均符合脑出血或急性缺血性卒中诊断标准^[5-6];②为首次发病,卒中部位为单侧大脑半球或脑干,病程 2 周~3 个月;③患者生命体

征稳定,意识清晰,可配合相关检查及治疗;④患者伴有单侧上肢运动功能障碍;⑤年龄 30~80 周岁;⑥患者或监护人对本研究知晓并签署知情同意书。患者排除标准包括:①有癫痫病史或正在进行抗癫痫治疗;②体内有金属植入物、起搏器等异物;③患有帕金森病、周围神经病变等其他可导致运动功能障碍的疾病。本研究同时经青岛大学附属医院伦理委员会审批(QYFYWZLL26418)。

选取 2020 年 1 月至 2021 年 1 月期间在青岛大学附属医院康复医学科治疗且符合上述标准的脑卒中恢复期患者作为研究对象,首先通过 DTI 技术重建患者双侧 CST,再根据患侧 CST 完整性情况将其分为完整性高组[各向异性分数比值(ratio of fraction anisotropy, rFA)>0.5]及完整性低组(rFA≤0.5),每组 30 例;随后采用随机数字表法将上述 2 组患者进一步细分为高频组、低频组及对照组,每组 10 例。研究期间共有 2 例患者失访,最终有 58 例患者疗效数据纳入分析。不同 CST 损伤程度各亚组患者一般资料情况详见表 1、表 2,表中数据经统计学比较,发现相同 CST 损伤程度各亚组患者性别、年龄、病程、病变部位、病变性质及 rFA 组间差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。

二、DTI 检查

入组前所有患者均采用德国 Siemens 公司产 Trio 3.0T 磁共振成像系统进行图像采集,扫描参数如下:重复时间(time of repetition, TR)9500 ms,回波时间(time of echo, TE)92.0 ms,层数 70,层厚 2 mm,激励次数 2 次,采集矩阵 256×256,视野(field of view, FOV)为 240 mm×240 mm,扩散梯度方向 31, b=1000 s/mm²。

表 1 入选 CST 完整性高各亚组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	病程(周, $\bar{x}\pm s$)	rFA 值($\bar{x}\pm s$)	脑卒中类型(例)		脑卒中部位(例)		
		男	女				脑出血	脑梗死	皮质	皮质下	脑干
高频组	9	6	3	55.89±7.27	8.11±2.74	0.70±0.09	3	6	2	5	2
低频组	10	6	4	55.00±7.34	8.80±2.82	0.73±0.07	3	7	3	5	2
对照组	10	6	4	55.40±7.82	8.00±2.98	0.75±0.07	4	6	2	6	2

表 2 入选 CST 完整性低各亚组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	病程(周, $\bar{x}\pm s$)	rFA 值($\bar{x}\pm s$)	脑卒中类型(例)		脑卒中部位(例)		
		男	女				脑出血	脑梗死	皮质	皮质下	脑干
高频组	10	6	4	56.40±7.81	8.20±2.63	0.33±0.11	4	6	2	6	2
低频组	9	6	3	55.78±7.38	8.33±2.59	0.30±0.10	3	6	2	5	2
对照组	10	5	5	56.30±7.12	8.10±2.87	0.29±0.09	5	5	2	6	2

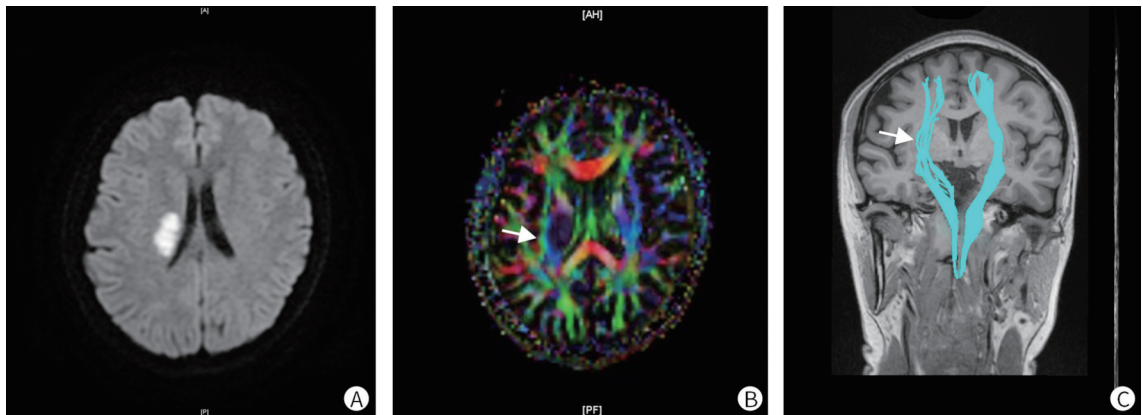
由同一技术人员应用 Siemens 公司提供的 Syngo.via MR 3D 软件对获得的 DTI 图像进行分析处理,应用弥散张量纤维束成像(diffusion tensor tracking,DTT)技术对患者双侧 CST 进行三维重建。将感兴趣区(region of interest,ROI)设于中央前回(ROI1),途径点设于同侧内囊后肢(ROI2),目标区域为脑桥基底部(ROI3),将同时通过 ROI1、ROI2 及 ROI3 的纤维束定义为 CST,系统自动计算所得 CST 的平均各向异性分数值(mean fractional anisotropy,mFA),并重建出彩色编码各向异性分数(color-coded fractional anisotropy,cFA)图。各向异性分数(fractional anisotropy,FA)是能定量评估 CST 损伤程度的重要参数,其数值大小与髓鞘完整性、纤维束致密性及平行性有关,FA 数值范围为 0~1,FA 越大则提示神经传导能力越强;将患侧/健侧 rFA 作为观察指标可定量评估患者 CST 完整性,通常 rFA>0.5(即结构保留度大于健侧的一半)定义为

CST 完整性高(如图 1),rFA≤0.5 则(即结构保留度小于等于健侧的一半)定义为 CST 完整性低(如图 2)。

三、治疗方法

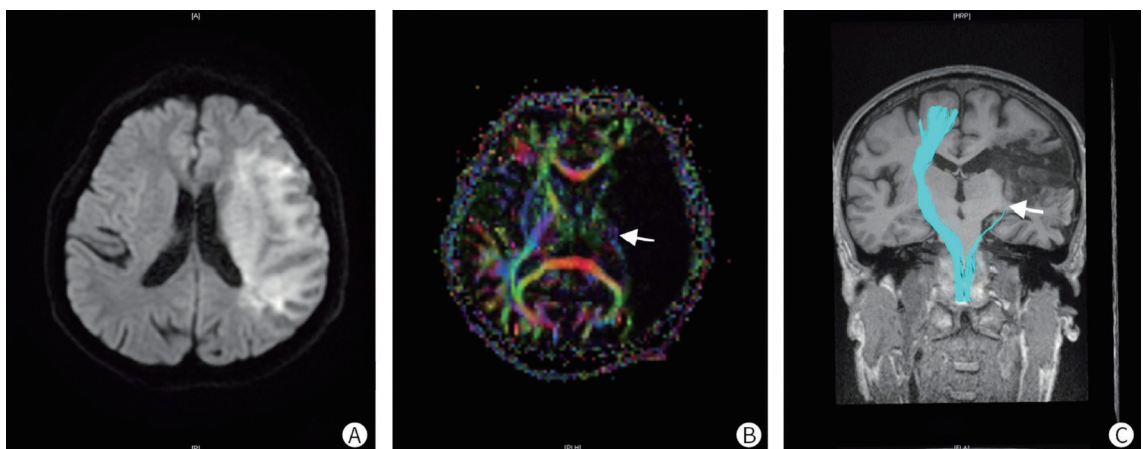
所有患者入院后均给予常规药物治疗,并根据评定结果给予相应康复干预,康复干预内容以 Bobath 技术、Brunnstrom 技术、本体感觉神经肌肉促进疗法(proprioceptive neuromuscular facilitation,PNF)及 Rood 技术等为主。

本研究患者在上述干预基础上同时辅以 rTMS 治疗,选用武汉依瑞德公司产 CCY-1 型增强版磁刺激仪,首先确定患者静息运动阈值(resting motor threshold,RMT),嘱患者取舒适坐位,使用 TMS 体表定位帽定位,将记录电极置于健侧拇短展肌肌腹处,参考电极置于记录电极旁约 2 cm 的肌腱处,地极置于同侧前臂远端;将圆形磁刺激线圈对准健侧运动皮质区并与颅骨表面相切(保持接触),从 30% 最大输出强度开始发



注:患者为女性,47 岁,诊断为右侧放射冠区脑梗死;A 为颅脑磁共振 DWI 示右侧放射冠旁高信号;B 为 cFA 图,箭头示右侧 CST 受压、变薄;C 为 DTT 图,箭头示右侧 CST 纤维数量减少(rFA=0.73)

图 1 CST 完整性高患者 MRI 检查结果及 DTT 三维重建图



注:患者为男性,63 岁,诊断为左侧大脑半球脑梗死;A 为颅脑磁共振 DWI 示左侧大脑半球高信号;B 为 cFA 图,箭头示左侧 CST 变薄;C 为 DTT 图,箭头示左侧 CST 纤维稀疏、中断(rFA=0.16)

图 2 CST 完整性低患者 MRI 检查结果及 DTT 三维重建图

放单脉冲刺激,通过微调磁刺激线圈位置直至诱导出明显的拇指外展动作,能使运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)潜伏期最短及波幅最大的刺激部位即为拇短展肌最大运动刺激区,找到该区后固定线圈并逐渐减小刺激强度,直至 10 次刺激中至少有 5 次刺激诱发的 MEP 波幅 $>50\ \mu\text{V}$,此刺激强度即为该患者的 RMT。

在正式治疗时患者取仰卧位,以健侧初级运动皮质区(M1)作为刺激靶点。高频组刺激参数如下:刺激频率 5 Hz,刺激强度为 90%RMT,每刺激 2 s 则间歇 8 s,总脉冲刺激数为 1080 次,总治疗时间为 18 min。低频组刺激参数如下:刺激频率 1 Hz,刺激强度为 90%RMT,每刺激 15 s 则间歇 2 s,总脉冲刺激数为 953 次,总治疗时间为 18 min。对照组磁刺激部位、磁刺激参数、治疗周期等均与高频组相同,但治疗时将磁刺激线圈沿手柄旋转 90°,使线圈与颅骨表面垂直。各组患者均每天治疗 1 次,连续治疗 3 周。

四、疗效评定分析

于治疗前、治疗 3 周后由对分组不知情的同一治疗师对各组患者进行疗效评定,分别采用 Fugl-Meyer 量表上肢部分(Fugl-Meyer assessment-upper extremity, FMA-UE)及 Wolf 运动功能量表(Wolf motor function test, WMFT)评定患者上肢运动功能情况,FMA-UE 量表评定内容包括肩、肘、腕、手指协同运动及分离运动等共 33 个项目,每个项目分值范围 0~2 分,总分 66 分,得分越高表示患者上肢运动功能越好^[7];WMFT 主要对单关节运动、多关节运动、功能性活动时计及运动质量等进行评定,共 15 项,结果分为 6 个等级,分别计 0~5 分,总分为 75 分,得分越高表示患者上肢运动能力越好^[8];采用改良 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI)评估患者日常生活活动能力情况,该量表

评定内容主要包括进食、洗澡、修饰、穿衣等共 11 项,满分为 100 分,得分越高表示患者独立性越强,其自我照顾能力越好^[9]。

五、统计学分析

本研究所得计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示,采用 SPSS 26.0 版统计学软件包进行数据分析,采用 Shapiro-Wilk 方法对数据进行正态性检验,发现所得数据均符合正态分布;计量资料治疗前、后组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用单因素方差分析, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

对 CST 完整性高的各亚组患者比较后发现,治疗前高频组、低频组及对照组 FMA-UE、WMFT 和 MBI 评分组间差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后各亚组 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分均较治疗前明显改善($P<0.05$);并以低频组各项疗效指标的改善幅度尤为显著,与高频组及对照组间差异均具有统计学意义($P<0.05$);高频组与对照组各项疗效指标组间差异仍无统计学意义($P>0.05$),具体数据见表 3。

对 CST 完整性低的各亚组患者比较后发现,治疗前高频组、低频组及对照组 FMA-UE、WMFT 和 MBI 评分组间差异均无统计学意义($P>0.05$);治疗后高频组 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分均较治疗前明显改善($P<0.05$),而低频组、对照组仅有 MBI 评分较治疗前明显改善($P<0.05$);通过进一步组间比较发现,治疗后高频组 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分亦优于低频组及对照组水平,组间差异均具有统计学意义($P<0.05$);而低频组与对照组上述各项疗效指标组间差异仍无统计学意义($P>0.05$),具体数据见表 4。

表 3 治疗前、后 CST 完整性高的各亚组患者各项疗效指标结果比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FMA-UE 评分		WMFT 评分		MBI 评分	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
高频组	9	29.33 $\pm$ 5.52	34.43 $\pm$ 5.50 ^a	34.33 $\pm$ 5.81	38.32 $\pm$ 5.16 ^a	63.33 $\pm$ 11.29	73.22 $\pm$ 11.42 ^a
低频组	10	29.10 $\pm$ 5.40	38.10 $\pm$ 5.71 ^{abc}	34.20 $\pm$ 5.49	43.20 $\pm$ 5.32 ^{abc}	63.50 $\pm$ 11.26	78.00 $\pm$ 11.35 ^{abc}
对照组	10	30.10 $\pm$ 5.37	35.00 $\pm$ 5.20 ^a	35.10 $\pm$ 5.15	39.90 $\pm$ 5.93 ^a	63.50 $\pm$ 11.21	73.50 $\pm$ 11.32 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$;与高频组相同时间点比较,^c $P<0.05$

表 4 治疗前、后 CST 完整性低的各亚组患者各项疗效指标结果比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FMA-UE 评分		WMFT 评分		MBI 评分	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
高频组	10	8.70 $\pm$ 1.70	12.00 $\pm$ 1.40 ^{abc}	11.70 $\pm$ 1.06	15.10 $\pm$ 1.99 ^{abc}	39.00 $\pm$ 5.32	49.00 $\pm$ 5.68 ^{abc}
低频组	9	8.56 $\pm$ 1.89	8.67 $\pm$ 1.80	11.33 $\pm$ 1.58	11.40 $\pm$ 1.66	40.00 $\pm$ 5.33	45.00 $\pm$ 5.72 ^a
对照组	10	8.72 $\pm$ 1.77	8.80 $\pm$ 1.69	11.70 $\pm$ 1.73	11.80 $\pm$ 1.62	39.00 $\pm$ 5.16	44.00 $\pm$ 5.29 ^a

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组相同时间点比较,^b $P<0.05$;与高频组相同时间点比较,^c $P<0.05$

讨 论

本研究结果显示, CST 完整性高的各亚组患者经治疗后其 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分均较治疗前明显提高, 并且低频组各项疗效指标改善幅度均显著优于对照组及高频组水平, 表明健侧低频 rTMS 疗效相对较优; 而 CST 完整性低的各亚组患者经治疗后, 发现高频组 FMA-UE、WMFT 及 MBI 评分均较治疗前及低频组、对照组明显改善, 而低频组、对照组 FMA-UE、WMFT 评分均较治疗前无明显改善, 表明高频 rTMS 治疗能更有效改善受损严重脑卒中患者上肢运动功能障碍。

重复经颅磁刺激 (rTMS) 可通过调节神经突触可塑性及皮质兴奋性来促进脑卒中患者功能恢复, 其中低频 (刺激频率 $\leq 1\text{Hz}$) rTMS 能产生皮质内抑制效应, 高频 ($\geq 5\text{Hz}$) rTMS 可增强皮质兴奋性。临床上常用的 rTMS 刺激方案多根据半球间抑制理论制订, 通过低频 rTMS 刺激抑制健侧半球运动皮质功能或高频 rTMS 刺激提高患侧半球皮质兴奋性, 从而加速脑卒中患者运动功能恢复^[10]。但该理论可能并不一定适用于运动功能严重受损患者^[11], Wang 等^[12]对运动功能受损严重的脑卒中患者健侧 M1 区施加高频 rTMS 刺激, 发现能增强健侧代偿以促进患者运动功能恢复, 提示健侧大脑半球在脑卒中患者运动功能恢复中具有重要作用。

脑卒中后机体运动功能恢复与脑皮质重组及神经突触可塑性有关, 包括断联后神经通路初始逆转、细胞修复激活及残存神经元通路轴突发芽伴随突触修饰等, 可引起脑皮质兴奋性改变及躯体运动功能区重组。上述恢复过程均涉及双侧脑半球, 并且在卒中后前 3 个月期间均处于高度活跃状态^[13]。CST 是机体最重要的随意运动传导通路, 其结构及功能完整性可在一定程度上预测卒中后运动功能恢复潜力^[14]。有研究表明 CST 完整性受损将导致机体运动模式由初级运动网络向完整的次级运动网络转变, 卒中后运动功能重组与受损皮质脊髓系统完整性密切相关^[15], 因此本研究以 CST 完整性为出发点, 探讨其对 rTMS 神经调控方案的影响。

本研究结果显示, 对于 CST 完整性高的患者, 通过低频 rTMS 抑制过度兴奋的健侧半球, 使双侧半球重新恢复平衡对患者运动功能改善具有促进作用; 对于 CST 完整性低的患者, 给予高频 rTMS 兴奋健侧半球也能有效改善卒中后患者上肢运动功能。本课题组认为, 患侧脑半球对运动功能的补偿能力有限, 当其不足以代偿受损运动功能时, 健侧半球在卒中后运动功能恢复中将发挥重要作用。Nair 等^[16]通过功能磁共

振研究发现, 入选脑卒中患者在执行各种运动任务过程中均表现出健侧半球运动区募集现象, 认为健侧半球在运动功能恢复中发挥重要作用。上述报道与本研究观察结果基本一致, 当损伤程度较轻时, 病灶周围脑区可对受损功能进行代偿, 而当损伤程度较重时, 受伤功能重新定位在健侧脑区, 可见健侧半球在脑卒中恢复中具有双面作用, 除了半球间相互抑制外, 健侧半球也具有一定代偿潜力, 至于何种机制在恢复过程中占主导地位可能与患侧 CST 完整性情况有关, 当 CST 完整性较高时, 通过低频 rTMS 抑制健侧半球, 重新恢复半球间平衡状态可能更有利于运动恢复, 而当 CST 完整性较低时, 高频 rTMS 刺激健侧半球可能通过促进代偿功能, 以帮助恢复损伤。

脑卒中后机体细胞及神经网络水平均会发生改变, 卒中后康复训练可促进脑皮质功能重组。相关动物实验发现, CST 轴突重塑及形态改变 (如轴突延伸、侧枝出芽等) 在康复训练介导的脑功能重组中发挥关键作用, 如健侧皮质脊髓神经元轴突可通过重新交叉到患侧, 参与轴突重塑及运动功能重组^[17]。Okabe 等^[18]也认为卒中后健侧运动皮质 CST 轴突能交叉到患侧, 并与患侧因脑损伤导致去神经支配的脊髓灰质形成功能连接, 使支配患侧肢体的皮质脊髓神经元获得健侧运动信息输出, 从而代偿患侧受损功能, 提示健侧半球 CST 轴突重塑可能是脑卒中后上肢运动功能恢复的重要机制之一。

综上所述, 本研究结果表明, 对于 CST 完整性高的患者, 采用低频 rTMS 刺激健侧半球 M1 区能显著改善脑卒中患者上肢运动功能, 对于 CST 完整性低的患者, 采用高频 rTMS 刺激健侧半球 M1 区亦对患者上肢运动功能具有改善作用, 上述疗法值得临床进一步研究、探讨; 需要指出的是, 本研究还存在诸多不足, 包括样本量较少、疗效观察指标有待优化、观察周期偏短等, 后续研究将针对上述不足进一步完善。

参 考 文 献

- [1] Molla-Casanova S, Llorens R, Borrego A, et al. Validity, reliability, and sensitivity to motor impairment severity of a multi-touch app designed to assess hand mobility, coordination, and function after stroke [J]. *Neuroeng Rehabil*, 2021, 18 (1): 70. DOI: 10.1186/s12984-021-00865-9.
- [2] Hsu WY, Cheng CH, Liao KK, et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on motor functions in patients with stroke: a meta-analysis [J]. *Stroke*, 2012, 43 (7): 1849-1857. DOI: 10.1161/STROKEAHA.111.649756.
- [3] Di-Pion G, Pellegrino G, Assenza G, et al. Modulation of brain plasticity in stroke: a novel model for neurorehabilitation [J]. *Nat Rev Neurol*, 2014, 10 (10): 597-608. DOI: 10.1038/nrneurol.2014.162.
- [4] Tae WS, Ham BJ, Pyun SB, et al. Current clinical applications of diffu-

- sion-tensor imaging in neurological disorders[J]. J Clin Neurol, 2018, 14(2): 129-140. DOI: 10.3988/jcn.2018.14.2.129.
- [5] 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. 中国脑出血诊治指南 (2019) [J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(12): 994-1005. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2019.12.003.
- [6] 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. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 [J]. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2018.09.004.
- [7] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2002, 16(3): 232-240. DOI: 10.1177/154596802401105171.
- [8] Duff SV, HE J, Nelsen MA, et al. Interrater reliability of the Wolf motor function test-functional ability scale: why it matters [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015, 29(5): 436-443. DOI: 10.1177/1545968314553030.
- [9] 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. DOI: 10.1186/s12874-017-0409-2.
- [10] Yuan X, Yang Y, Cao N. Promotion of poststroke motor-function recovery with repetitive transcranial magnetic stimulation by regulating the interhemispheric imbalance [J]. Brain Sci, 2020, 10(9): 648. DOI: 10.3390/brainsci10090648.
- [11] Theilig S, Podubecka J, Bosl K, et al. Functional neuromuscular stimulation to improve severe hand dysfunction after stroke: does inhibitory rTMS enhance therapeutic efficiency? [J]. Exp Neurol, 2011, 230(1): 149-155. DOI: 10.1016/j.expneurol.2011.04.010.
- [12] Wang Q, Zhang D, Zhao Y, et al. Effects of high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation over the contralesional motor cortex on motor recovery in severe hemiplegic stroke: a randomized clinical trial [J]. Brain Stimul, 2020, 13(4): 979-986. DOI: 10.1016/j.brs.2020.03.020.
- [13] Zeiler SR, Krakauer JW. The interaction between training and plasticity in the poststroke brain [J]. Curr Opin Neurol, 2013, 26(6): 609-616. DOI: 10.1097/WCO.0000000000000025.
- [14] Qiu M, Darling WG, Morecraft RJ, et al. White matter integrity is a stronger predictor of motor function than BOLD response in patients with stroke [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2011, 25(3): 275-284. DOI: 10.1177/1545968310389183.
- [15] Lotze M, Beutling W, Loibl M, et al. Contralesional motor cortex activation depends on ipsilesional corticospinal tract integrity in well-recovered subcortical stroke patients [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2012, 26(6): 594-603. DOI: 10.1177/1545968311427706.
- [16] Nair DG, Hutchinson S, Fregni F, et al. Imaging correlates of motor recovery from cerebral infarction and their physiological significance in well-recovered patients [J]. NeuroImage, 2007, 34(1): 253-263. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.09.010.
- [17] Wahl AS, Omlor W, Rubio JC, et al. Neuronal repair. Asynchronous therapy restores motor control by rewiring of the rat corticospinal tract after stroke [J]. Science, 2014, 344(6189): 1250-1255. DOI: 10.1126/science.1253050.
- [18] Okabe N, Narita K, Miyamoto O. Axonal remodeling in the corticospinal tract after stroke: how does rehabilitative training modulate it? [J]. Neural Regen Res, 2017, 12(2): 185-192. DOI: 10.4103/1673-5374.200792.

(修回日期: 2021-11-20)

(本文编辑: 易 浩)

• 外刊撷英 •

Hyperbaric oxygen therapy did not prevent delayed neuropsychiatric sequelae in a prospective observational study with propensity score matching in 224 patients with acute carbon monoxide toxicity

【Han S, Nah S, Choi S, et al. J Emerg Med, 2021, 60(4): 498-505.】

Background It is important to prevent the development of delayed neuropsychiatric sequelae (DNS) in acute carbon monoxide (CO) intoxication, but no effective treatment has been clearly identified. Hyperbaric oxygen (HBO) therapy is one of the treatment options in acute CO poisoning; however, whether it can prevent the development of DNS is controversial.

Objective The purpose of this study is to compare the effectiveness of normobaric oxygen (NBO) and HBO in preventing DNS.

Methods This prospective observational study was conducted on all patients with CO poisoning admitted to the emergency department of a tertiary hospital from 2016 to 2019. We followed-up patients to determine whether symptoms of DNS occurred at ≤ 6 months. We matched the propensity score to an equivalent distribution of potential covariates.

Results A total of 224 patients with CO poisoning were enrolled in this study. NBO was used for 26 patients and HBO for 198 patients. DNS occurred in 40 patients. There were significant differences between the NBO and HBO groups in terms of carboxyhemoglobin, loss of consciousness, dizziness, chest pain, hospitalization, and length of hospital stay. The incidence of DNS was 19.2% in the HBO group, which was higher than the 7.7% observed in the NBO group, but the difference was not significant ($P=0.18$). After propensity score matching, the incidence of DNS did not differ between the NBO and HBO groups (8.3% vs. 10.4%, $P>0.99$).

Conclusion There was no difference in the incidence of DNS between groups receiving HBO and NBO in acute CO intoxication.