

# 运动想象联合常规康复训练促进脑卒中患者功能恢复的静息态功能性磁共振研究

孙莉敏<sup>1</sup> 王鹤玮<sup>1</sup> 徐国军<sup>3</sup> 孙长慧<sup>2</sup> 朱秉<sup>1</sup> 徐一鸣<sup>1</sup> 范明霞<sup>3</sup> 吴毅<sup>1</sup>

<sup>1</sup>复旦大学附属华山医院康复医学科,上海 200040;<sup>2</sup>复旦大学附属华山医院北院康复医学科,上海 201907;<sup>3</sup>华东师范大学上海市磁共振重点实验室,上海 200062

通信作者:吴毅,Email:wuyi4000@163.com

**【摘要】** **目的** 利用静息态功能性磁共振成像(fMRI)研究脑卒中患者运动想象训练(MIT)联合常规康复训练后上肢功能恢复潜在的脑重塑机制。**方法** 选择 10 例脑卒中偏瘫患者,进行 MIT,每周 5 次,每次约 30 min,共 4 周,同时进行常规康复训练,每周 5 次,每次约 40 min,共 4 周。另选取 10 例年龄和性别与 MIT 组相匹配的健康受试者作为健康对照组。干预前和干预 4 周后,应用 Fugl-Meyer 运动功能量表上肢部分(FMA-UE)和改良 Barthel 指数(MBI)评估受试者的上肢运动功能和日常活动能力。干预前、后分别对患者进行 fMRI 检查,统计患侧初级运动区(M1)与全脑各脑区间的功能连接,计算 M1 和初级感觉区(S1)的偏侧化指数(LI)。**结果** 干预后,MIT 组 FMA-UE 评分从[(23.3±14.9)分]升高到[(33.6±13.6)分],MBI 从[(58.0±15.5)分]升高到[(72.5±16.2)分],差异均有统计学意义( $P<0.01$ )。MIT 组患者患侧 M1 与健侧 M1、健侧 S1、健侧额叶的功能连接增强,患侧 M1 与患侧旁中央小叶、患侧前扣带回的功能连接也增强。MIT 组干预前脑卒中患者的 LI 在 M1、S1 两区均较健康对照组明显增加(干预前  $LI_{M1}$  为 0.43,  $LI_{S1}$  为 0.37,健康对照组接近于 0),干预后  $LI_{M1}$  和  $LI_{S1}$  均有所降低,并趋向于健康人数值(干预后  $LI_{M1}$  为 0.22,干预后  $LI_{S1}$  为 0.34), $LI_{M1}$  显著下降( $P<0.05$ ), $LI_{S1}$  未显著下降( $P>0.05$ )。**结论** MIT 联合常规康复训练可改善脑卒中患者的上肢运动功能和日常活动能力,经过 4 周干预后患者患侧 M1 和健侧 M1 的功能连接被显著修复,和双侧多个非初级运动脑区的功能连接也增加,逐步恢复了双侧初级运动区功能连接的对称性,这些可能是运动想象联合常规康复训练改善脑卒中患者运动功能的脑重塑机制。

**【关键词】** 静息态功能性磁共振; 运动想象训练; 常规康复训练; 脑卒中; 脑重塑

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目(81401859);上海市卫生和计划生育委员会资助项目(201440634);上海市闸北区卫生局资助项目(面上 2014MS06)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.02.002

## The effects of motor imagery training and conventional therapy on the functioning of stroke survivors: A resting-state fMRI study

Sun Limin<sup>1</sup>, Wang Hewei<sup>1</sup>, Xu Guojun<sup>3</sup>, Sun Changhui<sup>2</sup>, Zhu Bing<sup>1</sup>, Xu Yiming<sup>1</sup>, Fan Mingxia<sup>1</sup>, Wu Yi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China; <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Huashan North Hospital, Fudan University, Shanghai 201907, China; <sup>3</sup>Department of Physics, Shanghai Key Laboratory of Magnetic Resonance, East China Normal University, Shanghai 200062, China  
Corresponding author: Wu Yi, Email: wuyi4000@163.com

**【Abstract】 Objective** To measure the efficacy of combining motor imagery training (MIT) with conventional therapy in improving stroke patients' upper-extremity function. And to seek a cortical reorganization mechanism associated with the improvement using resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI). **Methods** Ten stroke survivors were selected as an experimental group. They were given motor imagery training for four weeks (30 minutes a day, 5 days a week) and conventional rehabilitation therapy (40 minutes a day, 5 days a week). Another 10 healthy counterparts were the control group. Before and after the four weeks of treatment, both groups were assessed using the upper extremity Fugl-Meyer assessment (FMA-UE) and the modified Barthel index (MBI). Moreover, rs-fMRI was conducted to assess functional connectivity between cortical regions and the ipsilesional primary motor cortex (M1) before and after the intervention. The laterality index (LI) of the primary motor or sensory cortex was also calculated. **Results** After the intervention, the average FMA-UE and MBI scores of the experimental group had increased significantly. After MIT and conventional therapy there was increased functional connectivity between the ipsilesional and contralesional M1 areas, and between the ipsilesional M1 and contralesional primary sensory cortex

(S1) and frontal lobe, the functional connection between the ipsilesional M1 and the ipsilesional paracentral lobule and the anterior cingulate was also increased. More specifically, the LI relating M1 and S1 decreased after the intervention, tending toward the normal level.  $LI_{M1}$  decreased significantly. **Conclusion** The 4-week regimen of motor imagery training and conventional therapy resulted in functional improvement in the upper limbs and greater ability in the activities of daily living. The observed improvements may be due to cortical reorganization, including better functional connectivity between the bilateral M1 areas and increased connectivity between the ipsilesional M1 area and some non-motor areas. There is some recovery of symmetry in the bilateral primary motor cortex.

**[Key words]** Resting-state functional magnetic resonance imaging; Functional magnetic resonance imaging; Motor imagery training; Stroke; Cortical reorganization

**Fund program:** Natural Science Foundation of China (grant 81401859); Shanghai Commission for Health and Family Planning (grant 201440634); Shanghai Zhabei District Health Bureau (grant 2014MS06)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.02.002

脑卒中是常见病和多发病,约 70%的脑卒中患者能安全度过急性期,这部分脑卒中患者常会遗留运动、言语、认知等功能障碍,其中偏瘫是最常见的功能缺陷之一,严重影响患者的生活质量。近年来,运动想象训练(motor imagery training, MIT)逐渐被应用于脑卒中患者的偏瘫康复中,成为新的治疗手段<sup>[1]</sup>。MIT 是指在暗示语的指导下让患者把较难恢复的关节活动,如手指的屈伸运动等,在头脑中反复地想象、模拟、排练,从而促进该关节运动功能的恢复和运动技能的学习<sup>[2]</sup>。虽然目前关于 MIT 的临床研究较多<sup>[3-5]</sup>,但对于 MIT 通过何种机制来发挥治疗作用,目前尚未阐明。功能性磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)具有无创和高空间分辨率等优点,为研究脑卒中患者 MIT 的脑重塑机制提供了切实可行的方法。

以往脑卒中的 fMRI 研究多通过任务态 fMRI 观察任务引起的脑区激活情况,如前期研究 MIT 干预后脑卒中患者的任务态 fMRI<sup>[6]</sup>,发现被动握拳任务下大部分患者干预后损伤同侧的初级感觉运动区(sensorimotor cortex, SMC)激活增加,小部分患者 SMC 激活虽减少,但偏侧化指数(laterality index, LI)却显著增加,表明 MIT 干预后患者脑重塑可能存在两种不同的激活模式。然而,传统任务态 fMRI 将各脑区看作独立的功能单位,忽视了大脑的整体性和各脑区间的相互作用,有一定的缺陷;而静息态 fMRI 既能观察各脑区间是否存在功能性连接,分析各脑区间的相互作用,且被试者只需静卧,无需做各种任务,患者更易配合。因此,静息态 fMRI 比任务态 fMRI 更适于脑卒中患者。

用静息态 fMRI 研究 MIT 干预后脑卒中患者各脑区功能连接的变化目前国内外未见报道。本研究基于静息态 fMRI 研究,观察 MIT 联合常规康复训练后脑卒中患者患侧初级运动脑区与全脑各脑区间的功能连接变化,阐明其对脑卒中患者脑重塑作用的可能机制。

## 对象与方法

### 一、研究对象

选取在复旦大学附属华山医院康复科接受康复治疗脑卒中偏瘫患者 10 例,纳入 MIT 组。所有入选病例均符合全国第 4 次脑血管病学术会议制订的诊断标准,并经头颅 CT 或 MRI 检查确诊。病例入选标准:①首发脑卒中;②神志清楚,生命体征稳定;③18~80 岁;④病程 3~6 个月;⑤存在右侧偏瘫,Brunnstrom 分级手≤IV 级;⑥右利手。排除标准:①严重言语、注意力、听觉、视觉、智力、精神或认知障碍(简易认知状态检查表 MMSE<27 分);②严重痉挛或疼痛;③骨关节肌肉疾患、其他严重神经系统疾病、恶性肿瘤和严重心肺肝肾损害等;④外地无法随访;⑤体内有金属异物;⑥酒精或药物成瘾等。

健康受试者 10 名纳入健康对照组,其年龄、性别、文化程度等与脑卒中相匹配,所有受试者均为右利手,认知功能和智力正常,体内无金属植入物,既往无重要脏器疾病史,无脑部肿瘤或其他颅脑疾患,无精神病史,无癫痫史等。所有脑卒中受试者和健康受试者在干预前均签署知情同意书。

### 二、康复干预

10 例脑卒中患者均接受常规药物治疗和常规康复训练(每周 5 次、每次 40 min、共 4 周),并予 MIT 每周 5 次、每次 30 min、共 4 周。MIT 每次在固定的安静房间内进行,训练实施分 4 个步骤进行,由同一康复治疗师进行,由患者闭眼听治疗师的指导语完成相应的想象任务。具体如下:①先指导患者进行 2~3 min 的全身放松,即指导患者闭眼想象其躺在一个温暖、放松的地方(如沙滩、草坪等);②接着在 10 min 内提示患者进行上肢各关节的运动想象,包括患侧肩关节的屈曲伸展,患侧肘关节的屈曲伸展,患侧前臂的旋前旋后,患者腕关节的屈曲伸展,患侧手指屈曲伸展等动作;③然后在 15 min 内提示患者想象一些熟悉的日常

手的活动,如“想象你用患手抓住了面前的 1 个红苹果,然后慢慢放开”,“想象你用患手去拿桌子上的 1 个茶杯,并喝到了里面的水,再慢慢把茶杯放下”,“想象你正翻开面前的 1 本书,然后一页一页地翻下去”,“想象你用手拿起 1 支笔,然后在纸上写下了你的名字”等,想象的内容可以与近阶段作业治疗的内容相结合,由治疗师调整每次运动想象的内容和指导语;④最后 2~3 min,治疗师指导患者把注意力转回到自己周围的环境,告诉患者已回到了房间,然后让其注意听周围的声音,此时治疗师从“10”慢慢倒数到“1”,在数到 1 时让患者慢慢睁开眼睛。整个想象过程均要求患者用动觉想象,为监测患者是否在配合想象,治疗师在运动想象过程中可以不时询问患者进行想象动作的逼真度和清晰度,帮助患者更好地进入想象状态<sup>[7]</sup>。

### 三、康复评定

分别在入组时、接受 MIT 及常规康复训练后 4 周对 10 例脑卒中患者进行功能评定,采用 Fugl-Meyer 运动功能量表上肢部分(the upper-extremity portion of the Fugl-Meyer motor assessment, FMA-UE)评价患者的运动功能<sup>[8]</sup>,采用改良 Barthel 指数(modified Barthel index, MBI)评价患者的日常生活能力<sup>[9]</sup>,由同一医生进行康复评定。

### 四、fMRI 扫描设备

所有 fMRI 扫描均在华东师范大学上海市磁共振重点实验室完成。采用德国西门子 3.0T 磁共振成像系统。扫描用线圈为标准 12 通道头部线圈。扫描时告知受试者放松、闭目,头部勿动。戴防噪音耳机并固定头部。待受试者熟悉扫描室内环境后开始正式实验。MIT 组接受 2 次静息态 fMRI 检查,第 1 次在患者入组时,第 2 次在 4 周干预治疗后。健康对照组仅进行 1 次静息态 fMRI 检查。

### 五、静息态 fMRI 扫描

静息态 fMRI 扫描要求被试者保持清醒,静息平卧于检查床,闭眼,平静呼吸,固定头部。采集静息态血氧水平依赖性功能磁共振成像(blood oxygenation level dependent functional magnetic resonance imaging, BOLD-fMRI)数据,采用单激发平面回波成像(echo planar imaging, EPI)序列,参数:30 层(横断位),TR/TE/Flip Angle = 2000 ms/30 ms/90°,层厚/间距 = 4 mm/0.8 mm,横切面探测视野(field of view, FOV) = 220 mm × 220 mm,矩阵 64 × 64,激励次数 1。静息态扫描时间为 8 min 6 s,每个被试采集 240 帧功能像,为了消除扫描初期磁饱和影响,删去前 10 帧图像,余下 230 帧图像进一步进行预处理。

### 六、磁共振数据预处理

采用 SPM 8 软件做数据预处理和统计参数分

析。数据预处理包括时间校正(slicing timing)、头动校正(realignment)、配准到 MNI 标准化脑(normalization)、空间平滑(smoothing)、带通滤波(band-pass filtering)、去除协变量(moving covariates)。头动校正的数学变换包括平移(3 个参数量)和旋转(3 个参数),将平移参数大于 ±2.5 mm 或旋转参数大于 ±2.5°的数据剔除。对静息态数据,用 Rest 软件进行去除线性趋势和带通滤波(带宽 0.01~0.08 Hz),去除低频信号漂移和低频生理噪音。再利用线性回归分析的方法进一步去除头动,脑白质信号,脑脊液信号和全脑平均信号等协变量。最后,计算脑区之间对应时间序列的 Pearson 相关系数和网络构造,进行功能性连接分析。

### 七、统计学方法

分别计算双侧初级运动皮质(M1)和双侧初级感觉皮质(S1)的 LI,按如下公式计算: $LI_{M1} = (\text{病变同侧运动皮质的连接体素} - \text{病变对侧运动皮质的连接体素}) / (\text{病变同侧运动皮质的连接体素} + \text{病变对侧运动皮质的连接体素})$ ;  $LI_{S1} = (\text{病变同侧感觉皮质的连接体素} - \text{病变对侧感觉皮质的连接体素}) / (\text{病变同侧感觉皮质的连接体素} + \text{病变对侧感觉皮质的连接体素})$ 。因此,LI 的变化范围为 -1 到 1, -1 指的是仅病变对侧连接,1 指的是仅病变同侧连接,0 指的是病变对侧与同侧对称连接。LI 可以作为一个量化指标来衡量功能连接模式的对称性<sup>[10]</sup>。

为了确定干预前、后功能连接的差异与运动功能恢复是否具有相关性,本研究进一步对存在显著差异脑区的功能连接指数变化、LI 变化和 FMA-UE 分数变化作了 Spearman 相关性分析, $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、临床功能评分

4 周 MIT 及常规康复干预后,10 例脑卒中患者的 FMA-UE 评分显著增加,由  $(23.3 \pm 14.9)$  分升高到  $(33.6 \pm 13.6)$  分,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),MBI 从  $(58.0 \pm 15.5)$  分升高到  $(72.5 \pm 16.2)$  分,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

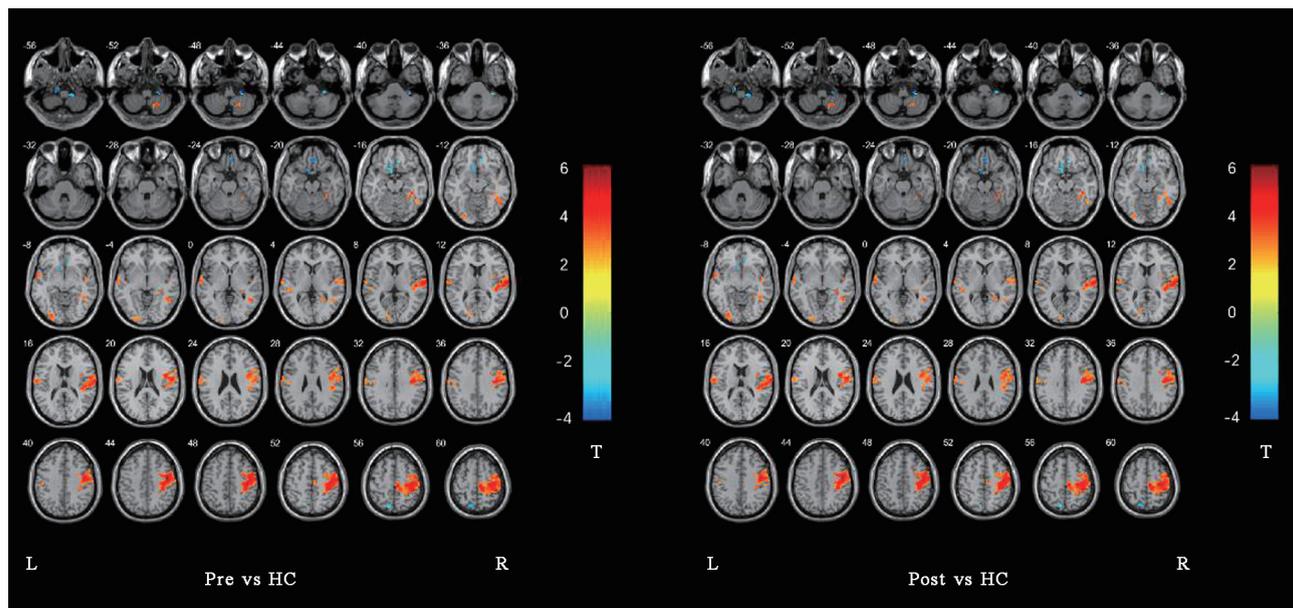
### 二、MIT 组和健康对照组脑区功能性连接比较

MIT 组脑卒中患者干预前、干预后和健康对照组的的功能连接比较如图 1 所示。MIT 干预前,双样本 *t* 检验( $P < 0.05$  的 Alphasim 矫正)发现,MIT 组以损伤侧 M1 为种子点的功能连接显著小于健康对照组的主要脑区有:损伤对侧的中央前回、小脑前叶、梭状回、距状回,损伤同侧的枕上回、枕下回、颞上回、颞中回。MIT 组以损伤侧 M1 为种子点的功能连接显著大于健康对

照组的主要脑区有:损伤对侧的小脑后叶、直回,损伤同侧的楔前叶。4 周干预后,双样本 *t* 检验发现,MIT 组以损伤侧 M1 为种子点的功能连接显著小于健康对照组的主要脑区有:损伤对侧的中央前回、顶下小叶、颞中回、颞上回、枕中回、楔前叶,损伤同侧的枕下回、颞中回、中央前回。MIT 组以损伤侧 M1 为种子点的

功能连接显著大于健康对照组的主要脑区只有损伤对侧的直回。见图 1 和表 1。

三、脑卒中患者干预前后脑区功能性连接的比较  
经过 4 周的 MIT 及常规康复干预后,脑卒中患者损伤侧 M1 与损伤对侧中央前回、中央后回、额叶的功能连接增强,损伤侧 M1 与损伤同侧的旁中央小叶、前



注:彩色柱状图代表 *t* 值,体素的颜色代表健康对照组与 MIT 组以损伤侧 M1 为种子点的全脑功能连接的差异,“hot color”代表健康对照组的功能连接>MIT 组的功能连接,“cold color”代表健康对照组的功能连接<MIT 组的功能连接;Pre 表示干预前;Post 表示干预后

图 1 脑卒中患者运动想象及常规康复干预前、干预后和健康对照组的功能连接比较

表 1 MIT 组和健康对照组与损伤侧 M1 功能性连接比较

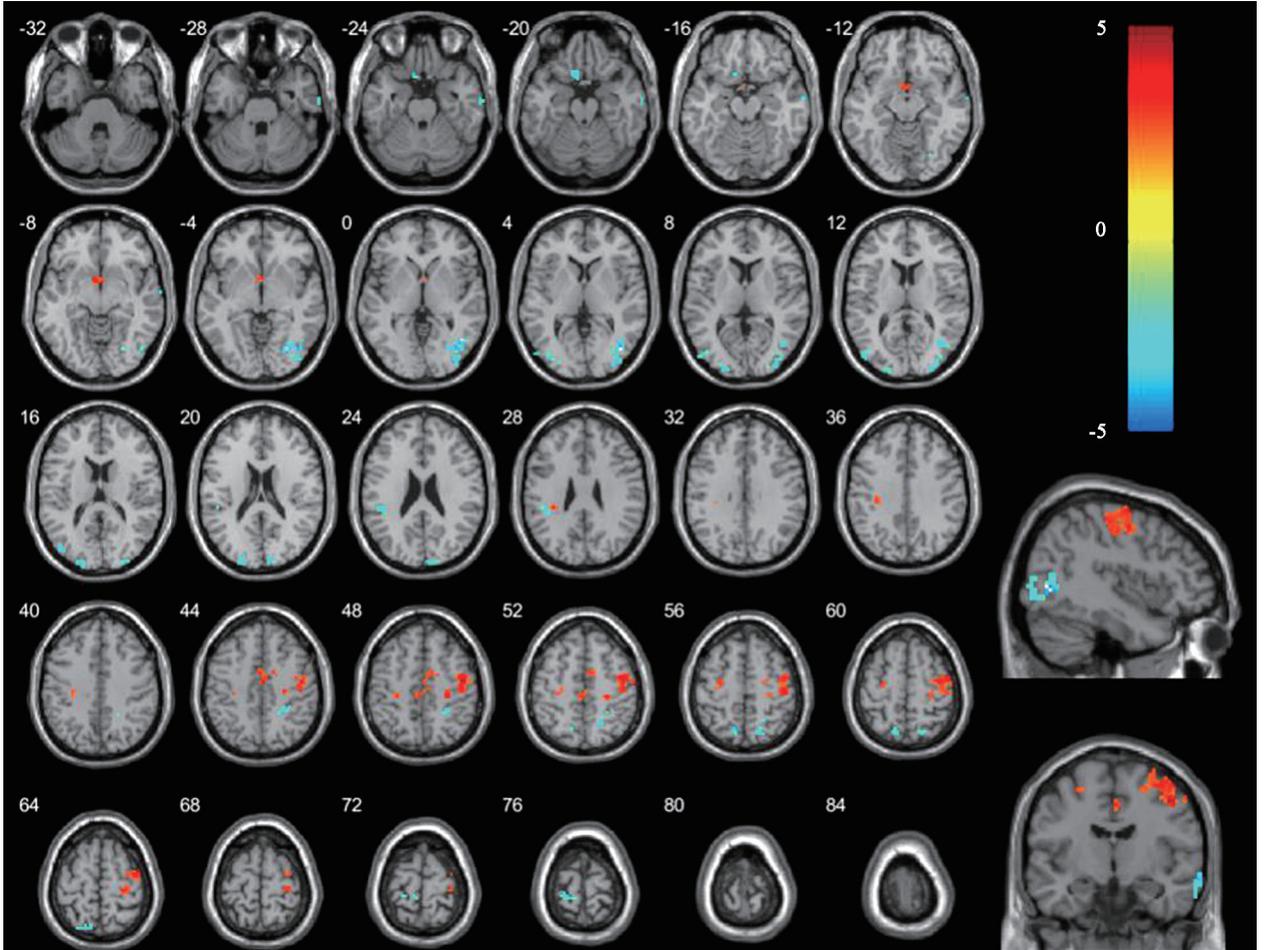
组间比较和脑区位置	左右半球	体素数最大激活点	MNI 坐标最大激活点			<i>t</i> 值	组间比较和脑区位置	左右半球	体素数最大激活点	MNI 坐标最大激活点			<i>t</i> 值
			X	Y	Z					X	Y	Z	
Pre<HC						中央前回	CL	494	45	-9	42	-4.97	
小脑前叶	CL	25	24	-60	-51	-3.96	楔前叶	CL	12	30	-81	39	-3.78
梭状回	CL	36	39	-36	-15	-4.34	中央前回	IL	37	-42	-6	36	-4.18
枕下回	IL	17	-27	-90	-6	-3.69	Post>HC						
中央前回	CL	729	45	-6	42	-6.16	直回	CL	9	3	42	-21	4.28
颞中回	IL	20	-60	-3	-9	-3.93	Pre<Post						
距状回	CL	14	24	-51	6	-3.74	前扣带回	IL	12	-6	6	-6	4.25
枕上回	IL	14	-12	-96	6	-3.00	中央前回	CL	108	45	-9	48	5.44
颞上回	IL	19	-48	-33	6	-3.33	额叶	CL	35	3	-12	45	3.58
Pre>HC						中央后回	CL	16	27	-27	48	3.71	
小脑后叶	CL	21	27	-33	-48	4.48	旁中央小叶	IL	12	-3	-27	48	2.80
直回	CL	18	3	36	-21	4.33	Pre>Post						
楔前叶	IL	15	-9	-66	63	3.96	中央后回	IL	13	-21	-33	75	-3.36
Post<HC						颞中回	CL	27	42	-69	0	-5.68	
颞中回	CL	35	48	-51	0	-4.51	枕中回	IL	22	-24	-93	9	-3.21
颞上回	CL	10	45	-3	-6	-3.98	楔叶	CL	9	12	-90	18	-3.60
枕下回	IL	33	-24	-87	-6	-3.52	楔前叶	IL	16	-9	-63	54	-4.21
枕中回	CL	76	30	-84	9	-3.56	顶下小叶	IL	17	-42	-33	27	-3.45
颞中回	IL	21	-60	-3	-9	-4.63	顶上小叶	CL	24	21	-54	54	-4.03
顶下小叶	CL	83	45	-27	27	-5.71							

注:Pre 表示 MIT 组干预前;Post 表示 MIT 组干预后;HC 健康组;CL 损伤对侧;IL 损伤同侧

扣带回的功能连接也增强;而损伤侧 M1 与损伤同侧中央后回、顶下小叶、枕中回、楔前叶的功能连接减弱,损伤侧 M1 与损伤对侧顶上小叶、楔叶、颞中回的功能连接也减弱。见图 2 和表 1。

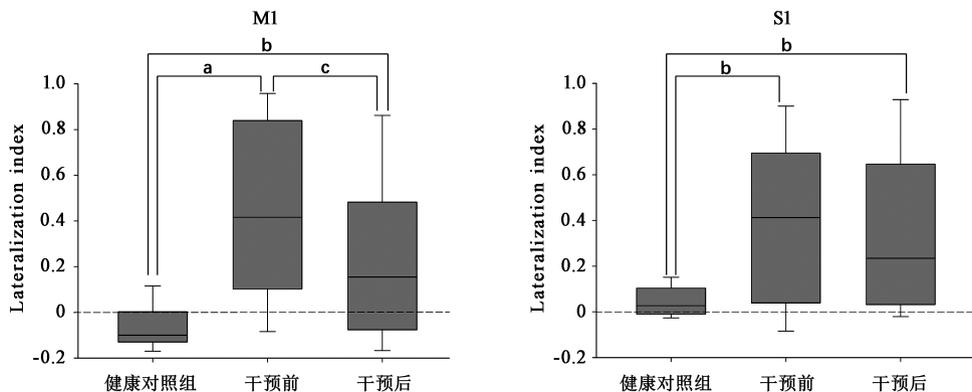
#### 四、LI 比较

图 3 显示的是 MIT 组和健康对照组 M1 区和 S1 区 LI 的改变。健康对照组的双侧感觉皮质和运动皮质的连接显示基本对称(LI 的平均值是 $-0.06 \pm 0.01$ ,几乎接近于 0)。MIT 组干预前脑卒中患者的  $LI_{M1}$  和  $LI_{S1}$  较健康组明显增加( $LI_{M1}$  干预前是 $0.43 \pm 0.31$ ,  $LI_{S1}$



注:彩色柱状图代表  $t$  值,体素的颜色代表脑卒中患者组以损伤侧 M1 为种子点的全脑功能连接的改变,“hot color”代表干预后功能连接 > 干预前功能连接,“cold color”代表干预后功能连接 < 干预前功能连接

图 2 脑卒中患者运动想象及常规康复干预前、后的功能连接比较



注:图中显示的是各组 LI 分布的范围(最中间的横线代表 P50、箱图上下代表 P75 和 P25 误差线代表 P90 和 P10),将健康对照组、MIT 组干预前和干预后的 LI 两两比较,<sup>a</sup> $P < 0.001$ ,<sup>b</sup> $P < 0.01$ ,<sup>c</sup> $P < 0.05$

图 3 健康对照组和 MIT 组干预前后的  $LI_{M1}$  和  $LI_{S1}$  的比较

干预前是  $0.37 \pm 0.30$ )。干预后 MIT 组  $LI_{M1}$  和  $LI_{S1}$  均有所降低,并趋向于正常数值,且  $LI_{M1}$  下降得更明显( $LI_{M1}$  干预后是  $0.22 \pm 0.15$ ,  $LI_{S1}$  干预后是  $0.34 \pm 0.24$ ),  $LI_{M1}$  下降有统计学意义( $P < 0.05$ ),而  $LI_{S1}$  下降不显著( $P > 0.65$ )。

#### 五、干预前后功能连接指数、LI 和上肢运动功能评分间的相关性分析

将 MIT 组干预前后与损伤侧 M1 功能连接发生变化的各个脑区的功能连接指数及其变化量,和干预后 FMA-UE 评分及评分增量进行相关性分析,未发现有显著相关性( $P > 0.05$ )。将干预前后 LI 的变化量和 FMA-UE 评分变化量进行相关性分析,也未发现有显著相关性( $P > 0.05$ )。考虑本研究的样本量较小,且患者之间的个体差异可能是导致相关性结果缺乏统计学意义的原因。

## 讨 论

脑卒中患者多残留有运动、感觉、言语等功能障碍。病程大于 3 个月的慢性期脑卒中患者的上肢功能恢复难度较大,本研究采用运动想象联合常规康复训练,干预 4 周,发现可有效改善脑卒中患者的上肢运动功能和日常活动能力。大脑是控制全身运动、感觉等功能的中枢,脑卒中后功能的恢复必然伴随有脑功能的重塑。静息态 fMRI 是一个安全、可靠的探索干预治疗后脑卒中患者脑重塑机制的方法<sup>[11-12]</sup>。本研究通过干预前后的静息态 fMRI 检查,发现了一些 MIT 联合常规康复干预促进脑卒中功能恢复的可能机制。

首先,干预前脑卒中患者双侧 M1 的功能连接显著弱于健康对照组,经过 MIT 及常规康复干预后,脑卒中患者双侧 M1 间的功能连接显著增加。M1 是整个运动系统的最上游段,其和其他运动相关的脑区密切合作,产生运动执行的信号冲动。有研究表明,皮质脊髓前束中有一部分纤维始终不交叉而止于同侧脊髓前角细胞,当一侧半球支配对侧躯体运动的传导通路受损时,这部分不交叉的纤维传导束可能就充分发挥代偿,因而损伤侧 M1 和损伤对侧的 M1 间的功能连接会显著增强<sup>[13-14]</sup>。

其次,经过 MIT 及常规康复干预,本研究发现了损伤侧 M1 与一些非初级运动脑区如损伤侧前扣带回、损伤侧旁中央小叶、损伤对侧额叶、损伤对侧中央后回的功能连接也有所增强。前扣带回被认为是边缘系统的组成部分之一,研究发现其在运动执行和运动想象任务时都发挥了一定的作用。如 Müller 等<sup>[15]</sup> 研究发现,前扣带回和运动再学习有关,在做简单运动想象任务时可以激活此脑区,该研究认为前扣带回是运动执行网络的重要部分,和执行任务的注意力有关。

旁中央小叶负责连接中央前回和中央后回,在接受远端肢体的感觉信号的传入和辅助运动控制方面扮演了重要的角色<sup>[16]</sup>。有多个研究发现在执行运动控制任务时会有旁中央小叶的激活,因此干预后旁中央小叶的功能连接增强可能参与了运动想象及常规康复训练促进脑卒中患者上肢运动控制的恢复<sup>[17-18]</sup>。本研究发现,MIT 及常规康复干预后损伤侧 M1 与健侧额叶的功能连接增强。额叶是高级认知控制和感觉运动整合区域。脑卒中患者在进行运动想象干预时需要充分集中注意力,进而充分调动认知相关的脑区,在内心反复地模拟、排演上肢的运动,说明运动想象可能同时促进运动区和认知相关脑区的功能连接。国外 Landsmann 等<sup>[19]</sup> 研究发现,5 周的运动训练不仅可以提高慢性期脑卒中患者的运动功能,同时也通过激活额叶脑区改善了患者的认知功能,而认知功能的提高会进一步促进运动功能的恢复,此为一个良性循环。本研究还发现健侧 S1 可能也参与了运动功能的恢复,MIT 及常规康复干预后损伤侧 M1 和损伤侧 S1 的功能连接显著减弱,和损伤对侧 S1 的功能连接却显著增强。感觉功能和运动功能是相辅相成的系统,运动系统损伤后感觉系统可以通过代偿来促进脑卒中患者运动功能的恢复<sup>[20]</sup>。本研究中,干预前后损伤侧 M1 和 S1 的功能连接有从患侧转移到健侧的趋势,可能原因是脑卒中后半球之间的联系被破坏,患者只表现为和患侧感觉区的功能连接增加,在 MIT 及常规康复干预后,双侧半球间的联系逐渐增强,健侧感觉区就被充分调动起来,此时患侧 M1 和健侧 S1 间的功能连接增加就成为主要的代偿途径。

另外,研究中还发现一些其他皮质脑区,如颞中回、枕中回等在运动想象及常规康复干预后功能连接性也发生了显著改变,这可能与 MIT 本身需要充分利用多感官的感知觉有关,至于产生这些结果的内在具体机制目前尚不十分清楚,需要进一步的研究加以论证。

就感觉运动区的 LI 而言,MIT 组脑卒中患者的 LI 比健康对照组高,说明同侧皮质下病灶造成病变同侧初级运动感觉皮质与病变对侧初级运动感觉皮质的连接降低;MIT 及常规康复干预后感觉运动区的 LI 均降低,并向健康对照组靠近,且  $LI_{M1}$  下降得比  $LI_{S1}$  更明显,即干预可恢复左右大脑的对称性连接,对初级运动区对称性的恢复要明显优于初级感觉区。这种恢复模式暗示双侧感觉运动区间平衡的建立有助于加快脑卒中患者上肢运动功能的恢复<sup>[21-22]</sup>。

综上所述,本研究发现,运动想象联合常规康复训练可改善脑卒中患者的上肢运动功能和日常活动能力,其脑重塑机制可能通过修复损伤侧 M1 和损伤对

侧 M1 间的功能连接,改善一些非初级运动脑区的连接,如损伤对侧 S1、损伤对侧额叶、损伤同侧前扣带回和损伤同侧旁中央小叶等,及恢复脑卒中患者双侧半球在运动区的平衡性来实现。当然,本研究也存在一定的不足之处,如由于本研究的样本量较小,故在功能连接变化和运动评分之间的相关性分析上未发现阳性结果,今后的研究需进一步扩大样本量来加强论证;本研究未单独设立脑卒中常规康复训练对照组,因此所得的结果均是 MIT 联合常规康复训练的效应,今后也将优化研究设计,设立常规康复训练对照组,观察 MIT 对脑卒中患者的独立效应;本研究脑卒中患者的随访时间较短,仅 4 周,无法判断干预治疗的长期效应,今后将延长患者的随访时间,以便观察患者的持续疗效和 fMRI 的动态变化,为脑卒中后的脑重塑机制提供更多的理论依据。

### 参 考 文 献

- [1] Ietswaart M, Johnston M, Dijkerman HC, et al. Mental practice with motor imagery in stroke recovery; randomized controlled trial of efficacy[J]. *Brain*, 2011, 134(5): 1373-1386. DOI: 10.1093/brain/awr077.
- [2] Dunsy A, Dickstein R, Ariav C, et al. Motor imagery practice in gait rehabilitation of chronic post-stroke hemiparesis four case studies [J]. *Int J Rehabil Res*, 2006, 29(4): 351-356.
- [3] Dijkerman HC, Ietswaart M, Johnston M, et al. Does motor imagery training improve hand function in chronic stroke patients? A pilot study[J]. *Clin Rehabil*, 2004, 18(5): 538-549.
- [4] Stevens JA, Stoykov ME. Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003, 84(7): 1090-1092.
- [5] 符俏, 陈文远, 喻锦成, 等. 运动想象疗法对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2010, 25(1): 53-55. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2010.01.014.
- [6] Sun L, Yin D, Zhu Y, et al. Cortical reorganization after motor imagery training in chronic stroke patients with severe motor impairment: a longitudinal fMRI study[J]. *Neuroradiology*, 2013, 55(7): 913-925. DOI: 10.1007/s00234-013-1188-z.
- [7] 孙莉敏, 胡永善, 吴毅, 等. 运动想象训练促进脑卒中患者功能恢复的随机对照研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2014, 33(3): 203-207. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2014.03.004.
- [8] Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, et al. The post-stroke hemiplegic patient. A method for evaluation of physical performance [J]. *Scand J Rehabil Med*, 1975, 7(1): 13-31.
- [9] Shah S, Vanclay F, Cooper B. Improving the sensitivity of the Barthel index for stroke rehabilitation[J]. *J Clin Epidemiol*, 1989, 42(8):

703-709.

- [10] Marshall RS, Perera GM, Lazar RM, et al. Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction[J]. *Stroke*, 2000, 31(3): 656-661.
- [11] Zhang J, Zhang Y, Wang L, et al. Disrupted structural and functional connectivity networks in ischemic stroke patients[J]. *Neuroscience*, 2017, 364(1): 212-225. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2017.09.009.
- [12] Zhang Y, Liu H, Wang L, et al. Relationship between functional connectivity and motor function assessment in stroke patients with hemiplegia: a resting-state functional MRI study [J]. *Neuroradiology*, 2016, 58(5): 503-511. DOI: 10.1007/s00234-016-1646-5.
- [13] Buetefisch CM, Reville KP, Shuster L, et al. Motor demand-dependent activation of ipsilateral motor cortex [J]. *J Neurophysiol*, 2014, 112(4): 999-1009. DOI: 10.1152/jn.00110.2014.
- [14] Alawieh A, Tomlinson S, Adkins D, et al. Preclinical and clinical evidence on ipsilateral corticospinal projections; implication for motor recovery[J]. *Transl Stroke Res*, 2017, 8(6): 529-540. DOI: 10.1007/s12975-017-0551-5.
- [15] Müller K, Bacht K, Schramm S, et al. The facilitating effect of clinical hypnosis on motor imagery: an fMRI study[J]. *Behav Brain Res*, 2012, 231(1): 164-169. DOI: 10.1016/j.bbr.2012.03.013.
- [16] Wang P, Zhu XT, Qi Z, et al. Neural basis of enhanced executive function in older video game player: an fMRI study[J]. *Front Aging Neurosci*, 2017, 9(1): 382-390. DOI: 10.3389/fnagi.2017.00382.
- [17] Zhang S, Tsai SJ, Hu S, et al. Independent component analysis of functional networks for response inhibition: inter-subject variation in stop signal reaction time[J]. *Hum Brain Mapp*, 2015, 36(9): 3289-3302. DOI: 10.1002/hbm.22819.
- [18] Coderre EL, van Heuven WJ. Modulations of the executive control network by stimulus onset asynchrony in a stroop task[J]. *BMC Neurosci*, 2013, 14(1): 79-96.
- [19] Landsmann B, Pinter D, Pirker E, et al. An exploratory intervention study suggests clinical benefits of training in chronic stroke to be paralleled by changes in brain activity using repeated fMRI[J]. *Clin Interv Aging*, 2016, 11(1): 97-103. DOI: 10.2147/CIA.S95632.
- [20] Li J, Zhang XW, Zuo ZT, et al. Cerebral functional reorganization in ischemic stroke after repetitive transcranial magnetic stimulation: an fMRI study[J]. *CNS Neurosci Ther*, 2016, 22(12): 952-960. DOI: 10.1111/cns.12593.
- [21] Murase N, Duque J, Mazzocchio R, et al. Influence of interhemispheric interactions on motor function in chronic stroke [J]. *Ann Neurol*, 2004, 55(3): 400-409.
- [22] Ward NS. Mechanisms underlying recovery of motor function after stroke[J]. *Postgrad Med J*, 2005, 81(958): 510-514.

(修回日期:2018-12-23)

(本文编辑:凌 琛)