

运动想象训练促进脑卒中患者上肢运动功能恢复的功能磁共振研究*

孙莉敏^{1,2} 吴毅^{1,2,4} 尹大志³ 范明霞³ 臧丽丽³ 胡永善^{1,2} 朱秉^{1,2} 徐一鸣^{1,2}

摘要

目的:利用功能磁共振(fMRI)研究脑卒中患者运动想象训练后上肢功能重组潜在的脑重塑机制,为临床脑卒中患者的康复治疗提供一定的理论基础。

方法:选择9例脑卒中偏瘫患者,进行运动想象训练每周5次,每次约30min,共4周,并进行常规康复训练。应用Fugl-Meyer上肢运动功能量表(FMA-UL)分别在治疗前和治疗后4周评估患者的上肢运动功能。在4周康复干预前后对患者进行患手被动握拳任务下的fMRI检查,采用组块设计,利用SPM8软件进行数据处理,采用感兴趣区(ROI)的个体化分析,统计各ROI区的脑皮质激活情况,比较干预前后对侧感觉运动区(cSMC)的激活变化,分析脑卒中患者的脑重塑模式。

结果:4周运动想象干预后脑卒中患者的FM-UL评分从(22.44±11.59)分提高到(39.78±14.03)分($P=0.011$)。比较干预前后两次fMRI检查脑皮质SMC区的激活情况,发现9例脑卒中患者的功能恢复呈现出两种不同的皮质重塑模式:一种模式为募集激活,即大部分患者第二次fMRI检查,患手被动任务下cSMC的激活增加(有6例患者);另一种模式是集中激活,即小部分患者第二次fMRI检查,患手被动任务下cSMC的激活虽然是减少的,但其偏侧指数(LI-SMC)却是显著增加的(有3例患者)。

结论:运动想象训练可改善脑卒中患者的上肢运动功能,经过4周干预后脑卒中患者存在损伤同侧SMC区的募集激活和集中激活两种脑重塑模式,随着患者上肢功能的恢复,脑重塑机制逐渐倾向于损伤侧SMC的激活。

关键词 功能磁共振;运动想象训练;脑卒中;感觉运动区;脑重塑

中图分类号:R743.3, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2015)-12-1217-06

The effects of motor imagery training on upper-extremity functional reorganization in stroke patients: a fMRI study/SUN Limin, WU Yi, YIN Dazhi, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30 (12): 1217—1222

Abstract

Objective: To measure the efficacy of motor imagery training (MIT) in improving stroke patients' upper-extremity functional outcomes and to find the possible cortical reorganization patterns associated with the improvement of motor function with functional magnetic resonance imaging (fMRI) response during a passive hand task.

Method: Nine stroke patients with stable, pure and motor deficits were enrolled. All patients received motor imagery training for 4 weeks (30 minutes a day, 5 days a week) and conventional rehabilitation therapy. Functional evaluation was assessed by the upper extremity of Fugl-Meyer assessment (FMA-UL) before treatment and 4 weeks after treatment. fMRI was also administered to assess cortical activation changes in regions of interest (ROIs) that included the primary and secondary motor and sensory areas while the patients executed a

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.12.004

*基金项目:上海市闸北区卫生局资助项目(面上2014MS06);上海市卫生和计划生育委员会资助项目(201440634);国家自然科学基金青年基金项目(81401859);国家科技部“十二五”支撑计划项目(2013BAI10B03)

1 复旦大学附属华山医院康复医学科,复旦大学上海医学院康复医学系,上海,200040; 2 复旦大学附属华山医院永和分院; 3 华东师范大学上海市磁共振重点实验室; 4 通讯作者

作者简介:孙莉敏,女,博士,副主任医师; 收稿日期:2014-11-06

passive fist clutch task at the two time points before and after 4-week interventions.

Result: After the interventions, FM-UL scores of the 9 stroke patients dramatically increased (22.44 ± 11.59 vs 39.78 ± 14.03 , $P=0.011$). There were two types of cortical reorganization patterns existed in the patients. One pattern consisted of persistent growth in activation in contralateral sensorimotor cortex(cSMC) for most patients (6 patients), and the other pattern consisted of focusing of activation in cSMC with increasing of the laterality index of SMC (LI-SMC) for a small portion of patients (3 patients).

Conclusion: This study indicated that, for the stroke patients with upper-extremity impairments, a 4-week regimen of motor imagery training resulted in functional improvement in upper-extremity. These interventions may elicit plastic changes; i.e., the possible two cortical reorganization patterns in the brain: increasing recruitment and focusing recruitment in cSMC. When the patients improved their functions, they mainly chose the cortical reorganization which was dominated by the activation in cSMC.

Author's address Dept. of Rehabilitation Medicine, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai, 200040

Key word functional magnetic resonance imaging; motor imagery training; stroke; sensorimotor cortex; cortical reorganization

脑卒中是严重影响人类健康的疾病,约70%左右的脑卒中患者能够安全度过急性期,但存活的脑卒中患者常会遗留运动、言语、认知等功能障碍,偏瘫是最常见的功能缺陷之一,严重影响患者的生存质量。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。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^[1]。虽然目前关于运动想象的临床研究较多,但大多不是机制研究,运动想象究竟是通过何种机制来发挥作用目前仍不是很清楚。功能磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)具有无创性和高空间分辨率等优点,为研究脑卒中患者运动想象的脑重塑机制提供了切实可行的方法。

用fMRI方法研究脑卒中患者运动想象训练的作用机制目前仅有横断面的研究^[2],缺乏运动想象干预前后纵向的fMRI研究。另外在选择fMRI的刺激任务上以往研究采用主动运动或想象运动的刺激任务^[2-4],但显然主动任务不适合严重偏瘫的脑卒中患者,想象任务又无法客观地去确认脑卒中患者在扫描时是否真的在想象相关的手动作,而被动任务既适于那些严重偏瘫甚至手完全不能动的患者,且对患者来说被动运动有较好的依从性和较高的数据可靠性,因此本研究将采用被动运动任务来代替主动或想象任务,研究想象训练后脑卒中患者脑皮质

重塑的机制。本研究拟通过4周的运动想象训练,观察脑卒中患者干预前后两次被动任务下的fMRI显示脑皮质激活变化,找到干预后脑皮质重塑的变化规律,为研究运动想象训练对脑卒中患者的作用机制提供理论依据。

1 对象与方法

1.1 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9例。所有入选患者均符合全国第四届脑血管病学术会议制定的诊断标准,并经头颅CT或MRI检查确诊。纳入标准: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存在偏瘫,Brunnstrom分期手≤IV期;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<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。所有脑卒中受试者在实验前均签署知情同意书。患者的一般资料见表1。

1.2 康复干预

9例脑卒中患者接受常规的康复治疗,并予MIT每周5次,每次约30min,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

表1 9例脑卒中患者的一般资料

患者	性别	年龄(岁)	病变部位	梗死(I)/ 出血(H)	皮质(C)/ 皮质下(S)	病程(天)	损伤侧	偏瘫侧	FM-UL (评分)
1	M	52	基底核,内囊	H	S	100	R	L	30
2	M	65	基底核,内囊	H	S	106	L	R	26
3	M	26	基底核,内囊	H	S	92	R	L	15
4	M	55	基底核,内囊,放射冠,额顶叶	I	C/S	130	L	R	17
5	M	61	基底核,内囊,放射冠	I	S	97	L	R	9
6	M	70	基底核,内囊	H	S	97	R	L	30
7	M	58	基底核,内囊,额顶叶	H	C/S	126	R	L	4
8	F	60	脑桥	I	S	162	R	L	35
9	M	63	基底核,内囊	I	S	142	L	R	36
$\bar{x} \pm s$		56.67±12.67				116.9±24.3			22.44±11.59

注:F:女,M:男;H:脑出血,I:脑梗死;S:皮质下脑卒中,C:皮质脑卒中;L:左侧,R:右侧;FM-UL:Fugl-Meyer 上肢运动功能评定

导语完成相应的想象任务。具体如下:①先指导患者进行2—3min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接着用10min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然后用15min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一个红苹果然后慢慢放开”,“想象你用患手去拿桌子上的一个茶杯,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一本书,然后一页一页地翻下去”,“想象你用手拿起一支笔,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—3min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(kinesthetic imagery),即第一方想象(first-person perspective imagery),为监测患者是否真的在配合想象,治疗师在运动想象过程中会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。

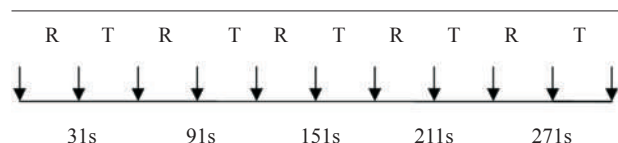
1.3 康复评定

分别在入组时、接受MIT治疗后4周对9例脑卒中患者进行功能评定,采用Fugl-Meyer上肢运动功能评定量表(FMA-UL)评价患者的运动功能^[5],由同一位医生来负责康复评定。

1.4 刺激模式

9例脑卒中偏瘫患者在MIT干预前及4周干预后均进行一次fMRI检查,实验任务采用组块设计,在每个完整的扫描(run)中,基线和任务态各有5个组块,每个组块持续30s(图1)。每个任务态有10个试验(trial),每个trial的时间是3s。另外,每个run扫描前都有6s的空扫,所以每个run的总时间为306s。

图1 试验任务设计



注:R=REST;T=TASK

1.5 刺激任务

体位:仰卧,头部固定。闭目。戴耳机以接受“合开”指令,听到“合”做被动手指屈曲握拳,听到“开”做被动手指伸直打开。被动任务时将一个充气橡皮球放在被试手心,该球连接一个压力感受器,检查者可以在操作平台上监测到被试每次握拳运动后的压力曲线以观察被试握拳的频率和幅度,保持前后一致性。被动运动由检查者接到“合开”指令后对被试进行被动握拳动作,频率约为1Hz,幅度为最大范围,活动30s后停止休息30s,反复5次。每个被试做fMRI前均事先进行了相关的刺激任务培训指导。

1.6 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。MR机为德国西门子3.0T磁共振成像系统(Siemens Trio 3 Tesla MRI scanner, Siemens, Erlangen, Germany)。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。待被试熟悉扫描室内环境后开始正式实验。

1.7 采集序列与扫描参数

三维高分辨T1加权像,采用磁化准备快速梯度回波序列(MPRAGE)序列,参数为:192层(矢状位),层厚为1mm,层间距0.5mm,重复时间/回波时间/反转角(TR/TE/Flip Angle)=1900ms/3.42ms/9°,反转时间为900ms,图像视野(field of view, FOV)=24cm×24cm,采样矩阵(Matrix)=256×256,重复次数(NEX)=1,扫描时间为5min;T2加权像,采用快速自旋回波序列(TSE),30层(横断位),层厚5mm,重复时间/回波时间/反转角(TR/TE/Flip Angle)=6000ms/93mm/120°,FOV=22cm×22cm, Matrix=320×320;采集BOLD-fMRI数据,采用单激发EPI序列,参数:30层(横断位),TR/TE/Flip Angle=3000ms/30ms/90°,层厚/间距=5mm/无间距,FOV=22cm×22cm, Matrix=64×64, NEX=1。

1.8 数据处理与统计学分析

采用SPM 8软件做数据预处理和统计参数分析。数据预处理包括头动校正、配准到MNI标准化脑、空间平滑,头动校正的数学变换包括平移(三个参数量)和旋转(三个参数),将平移参数大于±2.5mm或旋转参数大于±2.5°的数据剔除。然后根据实验设计构建一般线性模型(generalized linear model, GLM),再设置T检验对比度(被动vs基线)。最后得到t值统计参数图,采用的阈值为 $P < 0.05$ (FWE校正)。

我们对每个脑卒中患者进行个体分析,感兴趣区(region of interest, ROI)采用国际上通用的AAL模板来定义,ROI包括了双侧中央前回(precentral gyrus,包括BA4和BA6)、双侧中央后回、双侧辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、双侧小脑和双侧顶叶(包括顶上小叶和顶下小叶)。记录每个患者ROI有显著性意义的激活体素值。并计算感觉运动区SMC(sensorimotor cortex,即中央前回和中央后回)的偏侧化指数(laterality index, LI),根据公式 $LI=(C-I)/(C+I)$,其中C代表对侧SMC激活体素,I代表同侧SMC激活体素。由于行fMRI检查时承担任务(运动等)的肢体可为患侧肢体,也可为健侧肢体,因此所谓“同侧”(ipsilateral)是指承担任务

肢体同侧的大脑半球;同理,“对侧”(contralateral)是指承担任务肢体对侧的大脑半球。从上述公式可看出LI的取值范围是-1至+1,LI=-1表示SMC激活完全位于同侧,LI=+1表示SMC激活区完全位于对侧。LI-SMC是比较两侧半球SMC激活程度的量化指标。

2 结果

2.1 临床功能评分

4周MIT干预后,9例脑卒中患者的FMA-UL评分显著增加,由(22.44±11.59)分提高到(39.78±14.03)分,差异有显著性意义($P=0.011$),见表2。

表2 脑卒中患者的FM-UL评分

患者	FM-UL1	FM-UL2	ΔFM-UL
1	30	58	28
2	26	48	22
3	15	35	20
4	17	38	21
5	9	26	17
6	30	54	24
7	4	13	9
8	35	40	5
9	36	46	10
$\bar{x} \pm s$	22.44±11.59	39.78±14.03	17.33±7.71

注:FM-UL1:干预前Fugl-Meyer上肢运动功能评分;FM-UL2:干预后Fugl-Meyer上肢运动功能评分;ΔFM-UL:FM-UL2 - FM-UL1

2.2 两次fMRI检查激活情况

干预前后脑卒中患者患侧手的被动握拳均激活了大部分感觉运动皮质区域,两次fMRI检查时患手刺激任务引起的各个感兴趣区域激活的体素值见表3。9例患者中有6例患者4周MIT干预后对侧的感觉运动区(cSMC,即对侧中央前后回)的激活明显增加;另外3例患者4周干预后cSMC的激活虽明显减少,LI-SMC却是显著增加的。

2.3 脑皮质重塑模式

比较干预前后fMRI检查皮质的激活情况,我们发现脑卒中患者的功能恢复似乎不是依赖某种单一的皮质重塑模式而进行的,随着患者上肢运动功能的恢复呈现出两种不同的皮质重塑模式:一种模式是募集激活,即大部分患者第二次fMRI检查患手被动任务下cSMC的激活增加(66.7%的患者);另一种模式是集中激活,即小部分患者第二次fMRI检查患手被动任务下cSMC的激活虽然是减少的,但LI-

表3 脑卒中患者干预前后患手被动任务下各感兴趣区的皮质激活情况(激活的体系值)

患者	TP	C_preCG	I_preCG	C_postCG	I_postCG	C_SMC	I_SMC	C_SMA	I_SMA	C_Cb	I_Cb	C_PL	I_PL	LI-SMC
1	1	76	3	198	8	274	11	15	19	0	0	21	0	0.92
	2	248	43	426	25	674	68	116	43	18	27	210	0	0.82
2	1	35	5	29	23	64	28	21	0	0	0	24	107	0.39
	2	85	41	122	10	207	51	37	0	18	0	43	56	0.60
3	1	373	52	367	3	740	55	52	59	7	1	71	4	0.86
	2	196	0	217	0	413	0	0	0	0	0	16	0	1
4	1	110	0	173	0	283	0	19	17	0	0	0	0	1
	2	300	23	490	38	790	61	134	98	128	0	142	0	0.86
5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NC
	2	6	0	3	0	9	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	183	0	116	0	299	0	12	34	0	0	1	0	1
	2	351	15	385	111	736	126	138	67	365	444	21	47	0.71
7	1	0	0	11	0	11	0	0	0	0	0	0	4	1
	2	51	0	4	0	55	0	21	5	21	10	0	25	1
8	1	358	67	301	5	659	72	152	83	0	90	7	0	0.80
	2	209	0	259	0	468	0	11	0	54	45	5	120	1
9	1	313	87	409	240	722	327	197	256	64	23	127	20	0.38
	2	285	23	319	1	604	24	89	57	42	42	35	0	0.92

注:TP=做fMRI的时间点;C=患手做被动运动时对侧的大脑半球;I=患手做被动运动时同侧的大脑半球;preCG=中央前回;postCG=中央后回;SMC=初级感觉运动区(preCG+postCG);SMA=辅助运动区;Cb=小脑;PL=顶叶;LI-SMC=SMC的偏侧指数;NC=无法计算

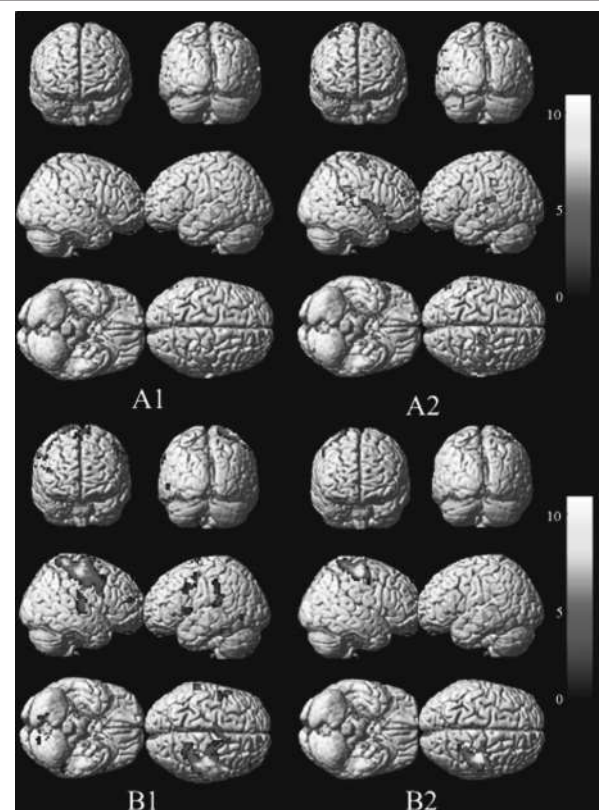
SMC却是显著增加的(33.3%的患者),即SMC的激活从同侧半球为主转移到了对侧半球为主,见图2。

3 讨论

脑卒中患者多残留有运动、感觉、言语等功能障碍。康复治疗是恢复上述功能障碍的有效治疗方法。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。脑血氧水平依赖性功能磁共振(BOLD-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。

fMRI研究需要为受检者设定任务,目前主要采用组块实验设计(block design),通过对完成不同任务时脑皮质功能区血氧水平的变化的测定来了解该任务相关脑功能区的定位及改变,是整个研究的中心。脑卒中后脑重塑的fMRI研究采用的刺激方式目前有患肢主动运动、患肢被动运动及患肢想象运动。以往关于fMRI的研究发现,被动任务和主动任务下引起脑区的激活在空间位置上非常类似,均引起感觉运动相关区域的激活^[6],并且在激活量,激活程度上也很接近^[7]。这种相似性不仅发现在健康人的研究中,也发现在脑卒中患者的研究中^[7-10]。这种相似性可能与来自本体感受器和皮肤浅感觉感受器的运动相关感觉反馈有关^[7]。对于缺乏自主活动

图2 脑卒中患者干预后功能恢复的两种脑皮质重塑模式



注:一种模式是患手被动任务下cSMC激活的增加(如第7例患者,A1=第一次fMRI,A2=第二次fMRI);另一种模式是患手被动任务下cSMC激活虽减少,但LI-SMC却增加了(如第3例患者,B1=第一次fMRI,B2=第二次fMRI),Colorbar=t值。

的偏瘫患者来说,被动运动任务被推荐为一种适宜的fMRI任务模式来观察患者脑部皮质相关区域的激活变化。由于本研究观察的对象多数是偏瘫较重的脑卒中患者(患手的Brunnstrom分期小于4期),患者无法完成主动握拳和伸展任务,故本研究采用被动刺激任务来探究运动想象训练引起的脑重塑机制。

本研究选择SMC、SMA、小脑和顶叶作为感兴趣区域,这些区域据文献报道被认为在研究脑损伤患者的功能恢复中可能和脑可塑性相关^[11-12],且能代表主要的初级和次级感觉运动区域。由于脑卒中患者的个体差异较大,患者在脑损伤大小、损伤部位、卒中类型和损伤程度等因素上的差异性较大,因此本fMRI研究在进行数据分析时采用的是个体分析方法,而不是组分析方法。

从研究结果上看,我们发现脑卒中患者上肢运动功能的恢复呈现出两种不同的脑皮质重塑模式,而并非单一的模式,大部分患者随着运动功能的恢复,其cSMC激活增加(66.7%的患者),即募集激活的模式。被动运动时必然有感觉信息的输入,通过大脑感觉运动皮质的环路可引起cSMC的激活,而这种激活效应是可以被长期的运动想象训练及常规康复训练所强化的,因此多数患者做第二次fMRI时发现患手被动任务下cSMC激活量增加。cSMC激活增加可能使运动信号的传出量也随之增加,从而可以改善脑卒中患者的运动功能。众所周知,SMC区中特别是中央前回M1区是大脑发出皮质脊髓束的皮质神经元所在,与肢体的主动运动能力密切相关^[13]。有研究表明,损伤同侧M1区的激活增加和运动恢复相关^[9,14-15]。康复干预后cSMC激活量增加使整个运动系统的信号输出效率大大增加,也可以看作一段时期的运动想象训练后,SMC区作为传统的初级感觉运动系统其作用被逐步“上调”(upregulated),而损伤同侧的SMC激活增加可能是向下游的脊髓运动神经元传递高效运动信号以提高患者运动功能的重要条件。国外关于脑卒中轻度损伤患者的干预研究也发现了类似的脑皮质重塑模式^[16-17],即干预后可以增加损伤同侧的SMC激活。

本次研究还发现,小部分脑卒中患者显示出另一种脑皮质重塑模式,即集中激活模式,随着患者运

动功能的恢复其cSMC激活虽减少,但LI-SMC却是显著增加。这种cSMC绝对激活量减少但却集中激活在损伤侧大脑半球的模式和Ward等^[18]的研究类似。LI是代表两侧半球激活程度对比的量化指标。Calautti等^[19]和陈自谦等^[20]发现受试者的患手运动功能与患手运动时的LI值变化呈正相关,即LI值变化越大,患手运动功能恢复也越好。但关于卒中恢复和LI-SMC之间的关系并不明确,目前仍有争论,不同研究结果之间的差异可能和脑损伤类型、损伤严重程度、恢复程度、病程、康复治疗的种类及刺激任务不同等有关。本研究发现小部分脑卒中患者经过4周的MIT干预后引起双侧SMC激活的减少(其中同侧SMC激活减少更明显),由此导致LI-SMC的增加,说明干预后患者对患侧肢体的运动控制又重新回到了由对侧大脑皮质的皮质脊髓束神经元支配,这种对侧皮质脊髓束支配为主的运动方式就是健康人的正常模式,该脑重塑模式似乎是另一种患者增加初级运动系统运动信号的输出效率,以改善其运动功能的途径。可以理解为cSMC绝对激活增加(又称为募集激活)和集中激活这两种脑皮质重塑模式分别从量变和质变上提高了cSMC向下游脊髓运动神经元输出运动信号的效率,从而改善了脑卒中患者的运动功能。

本研究证明运动想象训练可改善脑卒中患者的上肢运动功能,4周运动想象干预后脑卒中患者存在损伤同侧SMC区的募集激活和集中激活两种脑重塑模式。但患者究竟会挑选哪种脑重塑模式,其具体机制尚有待进一步研究。

参考文献

- [1] Dunskey 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.
- [2] Sharma N, Simmons LH, Jones PS, et al. Motor imagery after subcortical stroke: a functional magnetic resonance imaging study[J]. Stroke, 2009, 40(4):1315—1324.
- [3] Butler AJ, Page SJ. Mental practice with motor imagery: evidence for motor recovery and cortical reorganization after stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(12 Suppl 2): S2—11.

(下转第1242页)