

## · 临床研究 ·

## 脑卒中后偏瘫手运动功能恢复的功能性磁共振成像研究

黄穗乔 梁碧玲 钟镜联 叶瑞心 陈志光

【摘要】 目的 应用功能磁共振成像(fMRI)技术探索脑卒中后运动功能恢复的脑代偿形式和机制。方法 选择 25 例脑卒中患者作为患者组,其中男 16 例,女 9 例;年龄 28~75 岁,平均 54.1 岁;进行 fMRI 检查时间最短为发病 2 周,最长为 60 个月。同时选择 15 例正常人作为对照组进行 fMRI 检查,其中男 11 例,女 4 例,年龄 35~69 岁,平均 48.6 岁。结果 对照组双侧手分别运动时,均在对侧 SM1 区产生激活,12 例右手运动时激活同侧 SM1 区(12/15),6 例左手运动时激活同侧 SM1 区(6/7)。SM1 激活区呈斑片状或不规则状高信号。各非主要运动区亦有一定比例的激活。患者组均在双侧 SM1 区产生激活,同侧 SM1 区则有 22 例产生激活,激活体积多数以对侧较大,LI 值为正值。右侧患手对侧 SM1 激活平均体积及 LI 值与正常组相近,同侧 SM1 平均激活体积大于正常组,LI 值小于正常组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。左侧患手的双侧 SM1 平均激活体积及 LI 值与正常组比较,差异均无统计学意义。PM、SMA、CMA 激活的出现率有不同程度增高,以对侧明显。结论 脑卒中后处于康复进程中者,患手对侧 SM1 体积已恢复到正常水平,同侧 SM1 仍有代偿现象。双侧的 PM、SMA 和 CMA 也有代偿表现。

【关键词】 fMRI; 脑卒中; 运动功能

The fMRI study of motor recovery of the hemiplegic hand after stroke HUANG Sui-qiao, LIANG Bi-ling, ZHONG Jing-lian, YE Rui-xin, CHEN Zhi-guang. Radiologic department, the Second Affiliated Hospital, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510120, China

【Abstract】 Objective To explore the compensatory mechanisms of brain in the recovery of stroke patients. Methods fMRI examination was performed on 15 healthy persons including 11 men and 4 women (mean age 48.6 years; range 36~69 years), and 25 stroke patients including 16 men and 9 women (mean age 54.1 years; range 28~75 years). The fMRI was performed from 2 weeks to 60 months after onset of stroke. Results In the normal group, the activations were seen in all contralateral SM1 with both hand movement, in 12 (12/15) ipsilateral SM1 with right hand movement, in 6 (6/7) ipsilateral SM1 with left hand movement. The SM1 activations appear as spot-like or irregular shape with high signal intensity. The activations were also seen in non-primary motor cortices. In the patient group, the activations were seen in all contralateral SM1 and 22 ipsilateral SM1 of 25 paretic hand movement. The volume of activation was larger in contralateral SM1 than that in ipsilateral SM1 in most cases. LI values were positive. The average volume of contralateral SM1 activation caused by right paretic hand movement was similar to that of normal right hand movement, but larger in ipsilateral SM1 activation with significant statistical difference. The LI value was smaller than that of the normal group and had also significant statistical difference. There are no statistical differences in the average volumes in the contralateral, the ipsilateral SM1 activation, in the LI value caused by left paretic hand movement and by normal left hand movement. The occurring rates of activation increased in PM, SMA, CMA in comparing right or left paretic hand movement to normal hand movement, especially in the ipsilateral side. Conclusion For stroke patients, the contralateral SM1 volume of paretic hand reached to normal level. There were still compensatory activations in ipsilateral SM1. The compensatory activations were also seen in both sides of PM, SMA and CMA.

【Key words】 fMRI; Stroke; Motor recovery

功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是一种崭新的神经成像方法,它不仅能反映大脑的解剖变化,而且能反映大脑的功能变化,因

此近年越来越多地被用于中枢神经损伤,特别是脑卒中康复的研究中,并取得了进展<sup>[1-3]</sup>。但由于临床脑卒中康复的复杂性和多样性,且 fMRI 应用的时间尚短,对其表现征象尚处于经验积累阶段,没有统一的结论。国内这方面的研究刚刚起步,亦见一些文章报道<sup>[4,5]</sup>。本研究对一组康复期脑卒中患者的 fMRI 检查结果进

基金项目:广东省科技计划项目基金资助项目(2003C30614)

作者单位:510120 广州,中山大学第二附属医院放射科

行了总结,并与正常人比较,希望积累一些有益的经验。现报道如下。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选择 25 例脑卒中康复期患者作为患者组,其中男 16 例,女 9 例;均为右利手;年龄 28 ~ 75 岁,平均  $(54.1 \pm 13.5)$  岁;进行 fMRI 时,病程最短 2 周,最长 60 个月,平均  $(6.8 \pm 11.7)$  个月;病变部位位于皮质区 2 例,位于内囊、基底节、放射冠 16 例,位于脑干 7 例;病变性质除 3 例为脑出血外,其余均为脑梗死。入选标准为:(1)CT 或 MRI 检查证实的脑梗死或脑出血,病灶可以累及运动皮质、内囊、基底核或脑干;(2)发病时患侧手握力至少降至 4<sup>-</sup>级或以下;(3)初发脑血管疾病;(4)处于脑卒中康复期,患者病情稳定,生命体征基本正常,神经系统功能恢复良好,患手握力恢复至 4<sup>+</sup>级以上。

另选择 15 例正常人作为对照组,其中男 11 例,女 4 例;均为右利手;年龄 35 ~ 69 岁,平均  $(48.6 \pm 9.5)$  岁。

### 二、成像设备

应用 Philips 公司产 Intera Master 1.5T 超导型 MRI 机,梯度场强为 30 mT/m,梯度切换率为 150 mT/m · s,采用标准头颅线圈或多通道相控阵头颅线圈。

### 三、检查方法

1. 常规扫描: $T_1$ WI 横断面,扫描参数为 TR/TE = 530 ms/15 ms; $T_2$ WI 横断面和冠状面,扫描参数为 TR/TE = 2 500 ms/120 ms;FLAIR 序列横断面,扫描参数为 TR/TE = 6 000 ms/120 ms,Flip 角为 90°。扫描层厚均为 5 mm,层距 0.5 mm,视野为 230 mm × 230 mm,采样矩阵为 250 × 250,激励次数为 2。

2. fMRI 扫描:采用回波平面成像加快速梯度回波序列,扫描参数为 TR/TE = 3 000 ms/15 ms,Flip 角为 90°,视野为 230 × 230,采样矩阵为 96 × 96,重建矩阵为 128 × 128,层厚为 4 mm,层距为 0,激励次数为 1,共 16 层,范围包括运动皮质区。

3. 标准  $T_1$ WI:扫描层厚、层距、视野、基线和层数与 fMRI 相同,获得高分辨  $T_1$ WI 图像,扫描参数为 TR/TE = 530 ms/15 ms,激励次数为 4。

### 四、运动任务设计和图像采集

应用组块设计方法,采用五指开合的方式进行手运动,对照组选用右手或左手(其中 15 例完成右手运动 fMRI,7 例完成左手运动 fMRI),患者组选用患手,手运动频率为 1 ~ 2 Hz。图像采集以静止 - 运动的方式交替进行,每例患者共采集 80 个动态,1280 幅图。

### 五、图像采集后处理

包括以下步骤:(1)确定数据处理范围;(2)头动校准

及图像空间平滑;(3)图像的时间平滑;(4)设定激活区像素最小值;(5)设定 Z 值阈值;(6)Z-score 图与高分辨  $T_1$ WI 图的融合。

### 六、观察指标

1. 非量化指标:观察各患者组双侧主要感觉运动皮质区(primary sensorimotor cortex, SM1)的激活位置、形态、范围和分布,以及运动前区(premotor cortex, PM)、补充运动区(supplementary motor area, SMA)、角回运动区(cingulate motor area, CMA)和非运动区的激活出现率。

2. 量化指标:(1)测量 SM1 的激活体积,用感兴趣区(region of interesting, ROI)技术测量每层 SM1 区的激活面积,相加后乘以层厚;(2)计算侧方指数(laterality index, LI),计算公式为  $LI = (C - I) / (C + I)$ ,其中 C 代表对侧 SM1 激活体积, I 代表同侧 SM1 激活体积;(3)测量 SM1 的信号变化。

### 七、统计学分析

应用 SPSS 11.3 版统计软件包,先对计量资料进行频数分析,检验是否属正态分布,并得到  $(\bar{x} \pm s)$ ;正态分布数据比较采用独立样本 t 检验,非正态分布数据比较采用独立样本秩和检验(Mann-Whitney U);设  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、对照组手运动的 fMRI 表现

#### (一) SM1 区

15 例被检者右手运动时均激活对侧 SM1 区,其中 12 例在同侧 SM1 区产生激活,3 例在同侧 SM1 区无激活表现;7 例被检者左手运动时均在对侧 SM1 区产生激活,其中 6 例在同侧 SM1 区产生激活,1 例在同侧 SM1 区无激活表现。激活区位于中央前后回区,可在侧脑室顶以上 2 ~ 6 个层面观察到(图 1)。

激活区的形态呈斑片状或不规则状高信号,不同个体或左、右手之间不完全相同。其左、右手间平均激活体积及 LI 值的比较见表 2。左、右手运动时的对侧 SM1 激活体积、同侧 SM1 激活体积和 LI 值比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。

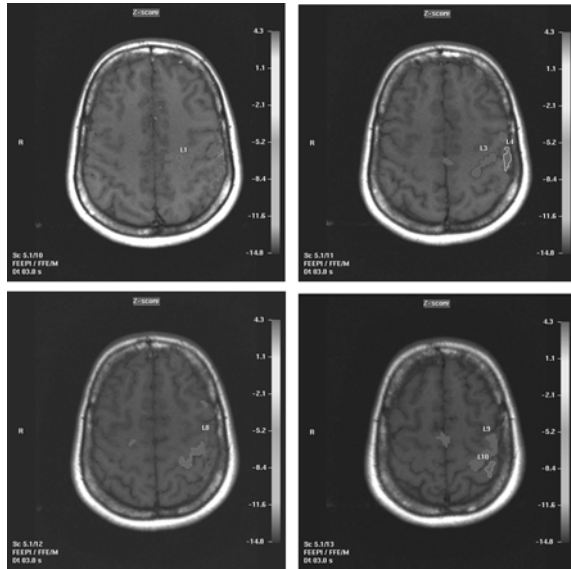
分别测量左、右手运动时对侧 SM1 激活区的信号变化幅度,右手为 2.5% ~ 5.3%,平均 3.6%;左手为 2.8% ~ 5.8%,平均 4.0%。

#### (二) 非主要运动区和非运动区

非主要运动区及非运动区的激活体积明显较 SM1 小。本研究未比较其激活体积大小,而是以出现率来进行比较。其中以 PM 激活的出现率最高, CMA 激活的出现率最低,其他非运动区,除颞叶、枕叶外,出现率都较低或未出现激活(表 1)。

表 1 不同患手及正常手运动时非主要运动区及非运动区激活的出现率(例,%)

| 组 别 | 例数 | PM     |       | SMA   |       | CMA   |       | 颞叶    |       | 枕叶    |       | 基底核   |       | 丘脑    |   | 额前    |       | 顶后    |       |
|-----|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|
|     |    | 左      | 右     | 左     | 右     | 左     | 右     | 左     | 右     | 左     | 右     | 左     | 右     | 左     | 右 | 左     | 右     | 左     | 右     |
| 对照组 |    |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |       |       |       |       |
| 右手  | 15 | 8(53)  | 4(27) | 5(33) | 0     | 2(13) | 0     | 4(27) | 1(7)  | 1(7)  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0 | 0     | 0     | 0     | 1(7)  |
| 左手  | 7  | 2(29)  | 4(57) | 2(29) | 3(42) | 0     | 1(14) | 2(29) | 4(57) | 1(14) | 1(14) | 0     | 0     | 0     | 0 | 0     | 0     | 0     | 2(29) |
| 患者组 |    |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |       |       |       |       |
| 右手  | 15 | 12(80) | 6(40) | 7(47) | 6(40) | 3(20) | 4(27) | 6(40) | 2(13) | 3(20) | 2(13) | 3(20) | 3(20) | 1(7)  | 0 | 3(20) | 1(7)  | 3(20) | 1(7)  |
| 左手  | 10 | 3(30)  | 9(90) | 3(30) | 4(40) | 0     | 6(60) | 2(20) | 0     | 1(10) | 1(10) | 1(10) | 1(10) | 1(10) | 0 | 1(10) | 2(10) | 0     | 2(20) |



注:对侧 SM1 在多个层面可见激活区,对侧的 PM、SMA 及同侧的 PM 也有激活表现

图 1 正常人右手运动时 fMRI 表现

## 二、患者组手运动的 fMRI 的表现

## (一) SM1

1. SM1 激活表现:无论哪一侧患肢运动,在双侧 SM1 区均可表现为斑片状或不规则状的激活影像,与对照组的激活区相似(图 2)。25 例脑梗死患者均在对侧 SM1 区产生激活,同侧 SM1 区则有 22 例产生激活;大多数为对侧 SM1 激活体积大,LI 值为正值;但有 3 例为同侧 SM1 激活体积大,LI 值为负值。2 例皮质梗死患者中,有 1 例可见激活区后移,靠近梗死灶边缘。2 例皮质下梗死患者中,SM1 激活区亦见后移。

2. SM1 的激活体积:不同患肢运动时,对侧、同侧 SM1 平均激活体积和 LI 值比较,以及对照组相应结果见表 2。右侧患手运动时,对侧 SM1 平均激活体积较对照组大,但差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。同侧 SM1 平均激活体积明显大于对照组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。患者组 LI 值明显小于对照组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。左侧患手运动时,对侧与同侧 SM1 平均激活体积和 LI 值均与对照组相近,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

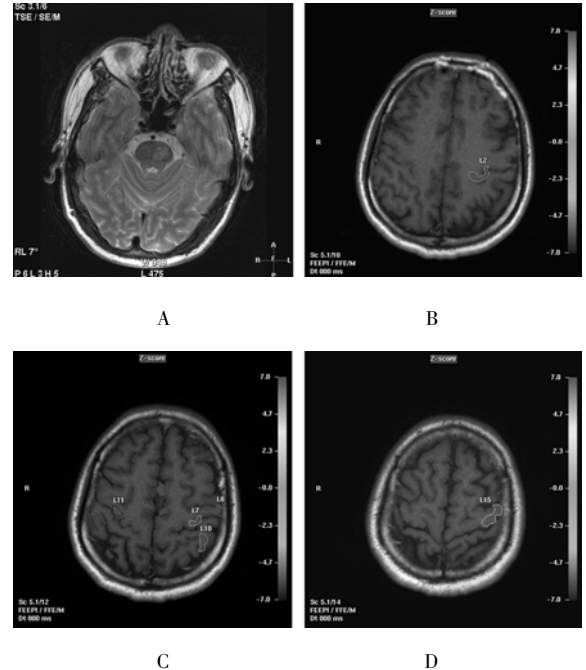
注:A. T<sub>2</sub> WI,示梗死区呈高信号;B~D. 右手运动激活表现

图 2 左桥脑梗死 2 个月患者 fMRI 表现

表 2 不同患侧 SM1 激活体积与正常组比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 组 别 | 例数 | 激活体积(mm <sup>3</sup> ) |                            | LI 值                       |
|-----|----|------------------------|----------------------------|----------------------------|
|     |    | 对侧 SMI                 | 同侧 SMI                     |                            |
| 对照组 |    |                        |                            |                            |
| 右手  | 15 | 2400.4 ± 888.1         | 195.6 ± 151.7              | 0.853 ± 0.104              |
| 左手  | 7  | 2116.7 ± 795.8         | 352.4 ± 399.3              | 0.726 ± 0.299              |
| 患者组 |    |                        |                            |                            |
| 右手  | 15 | 2737.6 ± 1449.0        | 867.6 ± 586.6 <sup>a</sup> | 0.486 ± 0.365 <sup>a</sup> |
| 左手  | 10 | 2181.9 ± 933.8         | 566.4 ± 791.9              | 0.488 ± 0.550              |

注:与对照组同侧比较,<sup>a</sup> $P < 0.05$ 

3. 不同梗死部位患者 SM1 激活情况比较:16 例梗死部位位于皮质下区(包括放射冠、内囊和基底核)与 7 例梗死部位位于脑干的患者的 SM1 激活情况比较见表 3,2 组对侧与同侧 SM1 平均激活体积和 LI 值比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。

表 3 不同部位病变 SM1 激活体积比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 病变部位 | 例数 | 激活体积(mm <sup>3</sup> )   |                        | LI 值                       |
|------|----|--------------------------|------------------------|----------------------------|
|      |    | 对侧 SM1                   | 同侧 SM1                 |                            |
| 皮质下区 | 16 | 2365 ± 1037 <sup>a</sup> | 800 ± 759 <sup>a</sup> | 0.527 ± 0.431 <sup>a</sup> |
| 脑干区  | 7  | 2446 ± 1349              | 518 ± 523              | 0.657 ± 0.371              |

注:与病变位于脑干区者比较,<sup>a</sup> $P > 0.05$

4. 不同病程患者 SM1 激活情况比较:13 例病程 3 个月内的患者与 12 例病程超过 3 个月患者 SM1 激活情况比较见表 4,2 组对侧与同侧 SM1 平均激活体积及 LI 值比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。

表 4 梗死后不同时间 SM1 激活体积比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 病 程     | 例数 | 激活体积( $\text{mm}^3$ )        |                            | LI 值                           |
|---------|----|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|         |    | 对侧 SM1                       | 同侧 SM1                     |                                |
| 3 个月内   | 13 | 2459 $\pm$ 1304 <sup>a</sup> | 768 $\pm$ 786 <sup>a</sup> | 0.535 $\pm$ 0.472 <sup>a</sup> |
| 超过 3 个月 | 12 | 2576 $\pm$ 1300              | 723 $\pm$ 570              | 0.584 $\pm$ 0.320              |

注:与病程超过 3 个月者比较,<sup>a</sup> $P>0.05$

5. 不同肌力患者 SM1 激活情况比较:10 例肌力恢复至 4<sup>+</sup>级患者与 6 例肌力恢复至 5 级患者 SM1 激活情况比较见表 5,肌力达 4<sup>+</sup>级者对侧 SM1 平均激活体积比肌力达 5 级者小,同侧 SM1 平均激活体积比肌力达 5 级者大,LI 值比肌力达 5 级者小,但差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

表 5 不同肌力患者运动的 SM1 激活体积比较( $\bar{x} \pm s$ )

| 肌力               | 例数 | 激活体积( $\text{mm}^3$ )        |                            | LI 值                           |
|------------------|----|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|                  |    | 对侧 SM1                       | 同侧 SM1                     |                                |
| 4 <sup>+</sup> 级 | 10 | 1980 $\pm$ 1113 <sup>a</sup> | 784 $\pm$ 687 <sup>a</sup> | 0.477 $\pm$ 0.439 <sup>a</sup> |
| 5 级              | 6  | 3155 $\pm$ 1735              | 470 $\pm$ 362              | 0.722 $\pm$ 0.248              |

注:与肌力 5 级者比较,<sup>a</sup> $P>0.05$

6. SM1 激活区信号变化幅度比较:右侧患手运动时,对侧 SM1 信号变化幅度为 3.0% ~ 7.3%,平均 4.8%;同侧为 1.8% ~ 5.2%,平均 3.8%。左侧患手运动时,对侧 SM1 信号变化幅度为 3.2% ~ 7.5%,平均 5.6%;同侧为 2.0% ~ 6.5%,平均 3.5%。

## (二) 非主要运动区和非运动区

非主要运动区和非运动区的激活体积明显较 SM1 小,本研究仅作了出现率分析,未作定量研究。与对照组比较,患者组双侧患手运动的对侧及同侧 PM、SMA 和 CMA 的激活出现率均有一定增高,其中以对侧增高较明显。双侧患手分别运动时,颞叶、枕叶、基底核、丘脑、额前叶、顶后都出现一定比例的激活,其中以左颞叶、左枕叶激活出现率稍高。

## 讨 论

fMRI 能反映脑皮质的功能变化主要是基于 Ogawa 等<sup>[6]</sup>首先提出的血氧水平依赖(Blood Oxygen Level-dependent, BOLD)。当运动皮质兴奋时,局部血流量增加,导致局部血氧水平产生差异,这种差异可改变信号强度从而产生 MR 信号对比差。正常人手运动时,在 fMRI 图像中可表现为中央前回横断面上的反  $\Omega$  (Omega) 形强信号激活区<sup>[7]</sup>,但大多数文献报道的运动皮质激活表现都没有如此典型,而表现为斑点状、片状强信号区,并常跨越中央沟抵达中央后回<sup>[8,9]</sup>。本研究所见的 SM1 激活表现亦呈斑点状、片状高信号激活区,且在

不同人中,其形态、大小并不完全一致。除了 SM1 外,正常人即使仅进行简单的手运动,双侧 PM、SMA 和 CMA 亦可出现不同比例和不同程度的激活。

脑卒中后运动功能恢复的差异很大,其功能恢复程度与脑损伤程度、部位、恢复时间及康复治疗相关。我们通过与对照组 fMRI 结果的比较发现,脑卒中后恢复良好的患者,其双侧 SM1 的激活形态与正常人相似,激活体积则因偏瘫侧别而有所不同,右侧患肢的对侧 SM1 平均激活体积与对照组比较,差异无统计学意义,同侧 SM1 平均激活体积比对照组大,LI 值小,且差异有统计学意义,说明除了对侧 SM1 功能已恢复外,同侧 SM1 的代偿作用尚未完全消除。其中有 3 例患者,LI 值为负值,说明功能的恢复以同侧代偿为主。LI 值最早由 Cramer 等<sup>[10]</sup>提出,它反映了两侧大脑半球对运动支配的平衡协调,其数值可在 1 ~ -1 之间,正常人呈正值,体现了对侧支配为主的规律;在脑卒中后恢复早期,LI 值可为负值,说明运动功能的恢复主要由同侧代偿,在脑卒中后恢复晚期,LI 值逐渐恢复正常。本研究患者中,尽管患肢肌力恢复水平相当,但 LI 值相差较大,最大为 1,小者为负值,这种差异说明康复的进程有所不同。同侧代偿的机制可以解释为正常人体运动由对侧大脑运动皮质支配,但实际上皮质发出的纤维中有 15% 并未交叉<sup>[11]</sup>,即锥体束中有 15% 的纤维来自同侧运动皮质,当对侧皮质或其形成的纤维束损伤时,同侧的支配作用就体现出来。另一种学说认为,双侧运动皮质区构成运动支配环路。正常状态时,对侧运动皮质具有抑制同侧运动皮质的作用,对侧运动皮质处于主要支配地位;当对侧损伤时,这种抑制作用减弱或消失,同侧就会起到一定支配代偿作用<sup>[8,12]</sup>。

本研究结果显示,左侧患手的对侧 SM1 平均激活体积、同侧 SM1 平均激活体积和 LI 值与对照组比较,差异无统计学意义,提示本组病例中,左手偏瘫者的功能恢复更好、更快,这与临床不符,还需积累更多的病例来验证。

我们还发现,除了双侧 SM1 激活体积变化,有 3 例患者可见激活区后移,这可能是由于该后移区与运动区细胞有重叠。在正常人,这些重叠区潜在的支配运动功能的作用被抑制,对功能而言属于内在的多余区;当病变损伤运动皮质或其通路时,抑制作用被解除或其纤维轴索与运动皮质纤维轴索形成新的突触而起到代偿作用<sup>[10,13,14]</sup>。

脑卒中后运动功能恢复的患者除了 SM1 出现代偿外,双侧大脑半球其他非主要运动区,如 PM、SMA 和 CMA 亦出现代偿,表现为激活出现率的增高和激活体积增大。有研究表明,PM、SMA 和 CMA 都有纤维参与皮质脊髓的组成,构成一个强大、广泛的运动指挥网

络,在正常情况下,这些区域不发挥或仅发挥很小的作用,当主要的运动功能皮质或其通路受到损伤时,这些区域就会发挥代偿作用<sup>[3, 15]</sup>。

本研究比较了皮质下和脑干卒中患者 SM1 激活情况,发现双侧 SM1 平均激活体积及 LI 值比较,差异无统计学意义,说明这两个部位病变造成脑卒中的恢复过程是相似的,这与有些研究者的报道一致<sup>[9]</sup>。我们还将脑卒中后 3 个月内与脑卒中后 3 个月以上患者进行比较,发现双侧 SM1 平均激活体积和 LI 值比较,差异无统计学意义,这与文献<sup>[16, 17]</sup>报道的脑卒中早期对侧 SM1 扩大,LI 值增大不一致。其原因可能与入选病例有关,文献<sup>[16, 17]</sup>报道的早期病例多在脑卒中后 2 周内,而本研究中 2 周内的病例仅 1 例。另外,将患肢肌力未完全恢复(4<sup>+</sup>级)和完全恢复(5 级)的患者进行比较后发现,双侧 SM1 平均激活体积和 LI 值比较,差异无统计学意义,而且肌力 5 级患者的 SM1 激活体积比 4<sup>+</sup>级的患者大。这与 Ward 等<sup>[16]</sup>提出的观点不同,他们认为患者功能恢复的程度与 SM1 激活范围呈负相关,即恢复越差,激活越明显,可能与该研究入选患者的肌力有些在 4<sup>+</sup>级以下有关。因此,本研究观察到的脑卒中康复期患者的 fMRI 征象只能代表在常规治疗脑卒中条件下的变化规律,要完全弄清脑卒中康复的代偿机制尚需积累更多的病例,进行更为深入的研究。

### 参 考 文 献

- [1] Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, et al. Neural correlates of outcome after stroke: a cross-sectional fMRI study. *Brain*, 2003, 126: 1430-1448.
- [2] Cao Y, D' Olhaberriague L, Vikingstad EM, et al. Pilot study of functional MRI to assess cerebral activation of motor function after post-stroke hemiparesis. *Stroke*, 1998, 29: 112-122.
- [3] Calautti C, Baron JC. Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: a review. *Stroke*, 2003, 34: 1553-1566.
- [4] 邱明国,王健,谢兵,等.卒中早期手指被动运动的脑功能磁共振成像研究. *中国医学影像技术*, 2005, 21: 1317-1320.
- [5] 焦杨,杨凤民,张暹东,等.健侧顶叶皮层参与卒中急性期脑功能重组:fMRI 研究. *临床放射学杂志*, 2005, 24: 569-572.
- [6] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain MRI with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1990, 87: 9868-9872.
- [7] Yousry TA, Schmid UD, Alkadhi H, et al. Localization of the motor hand area to a knob on the precentral gyrus: a new landmark. *Brain*, 1997, 120: 141-157.
- [8] Marshall RS, Perera GM, Lazar RM, et al. Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction. *Stroke*, 2000, 31: 656-661.
- [9] Boecker H, Kleinschmidt A, Requardt M, et al. Functional cooperativity of human cortical motor areas during self-paced simple finger movements: a high-resolution MRI study. *Brain*, 1994, 117: 1231-1239.
- [10] Cramer SC, Nelles G, Benson RR, et al. A functional MRI study of subjects recovered from hemiparetic stroke. *Stroke*, 1997, 28: 2518-2527.
- [11] Yousry I, Naidich TP, Yousry TA. Functional MRI: factors modulating the cortical activation pattern of the motor system. *Neuroimaging Clin N Am*, 2001, 11: 195-202.
- [12] Jacobs KM, Donoghue JP. Reshaping the cortical motor map by unmasking latent intracortical connections. *Science*, 1991, 251: 944-946.
- [13] Chen R, Cohen LG, Hallett M. Nervous system reorganization following injury. *Neuroscience*, 2002, 111: 761-773.
- [14] Jones TA, Schallert T. Overgrowth and pruning of dendrites in adult rats recovery from neocortical damage. *Brain Res*, 1992, 581: 156-160.
- [15] Newton J, Sunderland A, Butterworth SE, et al. A pilot study of event-related fMRI of monitored wrist movements in patients with partial recovery. *Stroke*, 2002, 33: 2881-2887.
- [16] Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, et al. Neural correlates of motor recovery after stroke: a longitudinal fMRI study. *Brain*, 2003, 126: 2476-2496.
- [17] Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, et al. The influence of time after stroke on brain activations during a motor task. *Ann Neurol*, 2004, 55: 829-834.

(收稿日期:2006-09-27)

(本文编辑:吴倩)

## 《中华物理医学与康复杂志》2007 年第 7 期“继续教育园地”答题卡

(该答题卡复印有效)

|      |       |    |   |   |   |   |
|------|-------|----|---|---|---|---|
| 姓 名  | _____ | 1. | A | B | C | D |
| 性 别  | _____ | 2. | A | B | C | D |
| 职 称  | _____ | 3. | A | B | C | D |
| 工作单位 | _____ | 4. | A | B | C | D |
| 联系电话 | _____ | 5. | A | B | C | D |
| 地 址  | _____ |    |   |   |   |   |
| 邮 编  | _____ |    |   |   |   |   |

答题卡请寄: 430030 武汉市解放大道 1095 号同济医院《中华物理医学与康复杂志》编辑部收