

运用功能磁共振成像探讨中央沟区肿瘤 对运动皮层功能的影响

黄穗乔, 梁碧玲, 张 嵘, 李 勇, 钟镜联
(中山大学附属第二医院放射科, 广东 广州 510120)

摘要:【目的】运用功能磁共振成像(fMRI)的方法探索中央沟区肿瘤对运动皮层的影响。【方法】46例颅内中央沟区肿瘤完成了常规和fMRI检查,包括转移瘤10例、胶质瘤19例、脑膜瘤8例、动静脉畸形3例、血管瘤4例、蛛网膜囊肿2例。15例正常人共完成22次手运动fMRI作为对照组。fMRI扫描采用平面回波成像加快速梯度回波序列,手运动任务采用组块设计方法,五指对掌开合,频率为1~2 Hz。【结果】肿瘤距同侧SM1 1 cm以内对SM1的影响比距1 cm以上者明显,肿瘤同侧SM1激活率低,但对侧SM1及其他非主要运动区激活出现率差别不大。距同侧SM1 2 cm内的恶性肿瘤对SM1影响比良性肿瘤明显,SM1激活率低,且对侧SMA、CMA激活率升高。与正常组的比较亦显示出距SM1 2 cm内的恶性肿瘤对SM1激活影响明显,SM1激活率明显减低。【结论】中央沟区肿瘤对运动皮层区的影响主要取决于肿瘤距同侧SM1的距离和肿瘤的良恶性,其影响以同侧SM1激活减低为主,恶性肿瘤可见对侧SMA、CMA激活代偿增加。

关键词:肿瘤;运动皮层;功能磁共振成像

中图分类号:R445.2

文献标识码:A

文章编号:1672-3554(2007)04-0452-06

Affection of Tumors Near Central Sulcus on Motor Cortex: Functional MRI Study

HUANG Sui-qiao, LIANG Bi-ling, ZHANG Rong, LI Yong, ZHONG Jing-lian

(Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510120, China)

Abstract: 【Objective】 To explore affection of tumors near the central sulcus on motor cortex by functional magnetic resonance imaging (fMRI). 【Methods】 Forty-six patients with brain tumor near the central sulcus were examined by routine and functional MRI. Among them, 10 were metastases, 19 were gliomas, 8 were meningiomas, 3 were arterial-venal malformation (AVM), 4 were hemangiomas, and 2 were arachnoid cysts. Total 22 hand movement functional MRI in 15 healthy peoples were performed as comparing group. The functional MRI was performed using FFE-EPI sequence. The block design was used in this study. The task was given with five fingers open and close in a rate of 1-2 Hz. 【Results】 The affection to the sensorimotor cortex (SM1) was more obvious for tumors within 1 cm from ipsilateral SM1 than over 1 cm from ipsilateral SM1. The occurring rate of activation in ipsilateral SM1 was lower, but there was not obvious difference in occurring rates of activation in contralateral SM1 and other non-primary motor cortex. The affection to the SM1 was more obvious for malignant tumors than for benign tumors within 2 cm from ipsilateral SM1, in which the occurring rate of activation in ipsilateral SM1 was lower, but the occurring rate of activation was raised in the contralateral supplementary motor area (SMA) and cingulate motor area (CMA). The obvious affection to the SM1 was also shown in malignant tumors within 2 cm from ipsilateral SM1 comparing the normal group, the occurring rate of activation in ipsilateral SM1 decreased. 【Conclusion】 The affection to motor cortex for tumors near the central sulcus depend mainly on the distance between tumor and ipsilateral SM1 and property of tumors. The affection mainly includes decrease of ipsilateral SM1 activation and complementary increase of contralateral SMA and CMA activations in malignant tumors.

Key words: tumor; motor cortex; functional MRI

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2007, 28(4):452-457]

收稿日期 2006-12-25

基金项目 广东省科技计划项目基金资助项目(2003C30614)

作者简介 黄穗乔(1960-),男,陕西汉中,人,博士,副教授,硕士生导师,E-mail:hsq_h@hotmail.com

在颅内肿瘤的外科治疗中,最重要的目的就是要尽可能完整切除肿瘤组织,同时又不损伤重要的脑功能结构,尤其是运动功能皮层(motor cortex)。运动功能皮层位于中央前回,与感觉皮层(中央后回)密切联系,两者统称为主要感觉运动皮层(sensorimotor cortex, SM1)^[1,2]。位于中央沟附近的脑内、外占位性病变会对SM1产生影响,因此,在手术之前,明确这些影响对手术有着重要意义。功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)既能显示运动皮层又能显示肿瘤本身,因此是评价肿瘤对功能皮层影响的良好方法。

1 材料与方法

1.1 研究对象

1.1.1 病变组 从2003年10月~2006年7月对46例颅内近中央沟区占位病变的患者进行了fMRI检查,包括转移瘤10例、胶质瘤19例、脑膜瘤8例、动静脉畸形3例、海绵状血管瘤4例及蛛网膜囊肿2例。病变患者年龄、性别、部位、良恶性及手术情况见表1。在恶性病变中,10例为转移瘤,其原发病灶为肝癌1例、乳腺癌1例、鼻咽癌1例,其余均来自肺癌。胶质瘤中,按WHO病理分型分级,~级归于良性组,~级归入恶性组。

表1 46例颅内肿瘤的临床资料

Table 1 Clinical information of 46 intracranial tumors

(cases)

Type	Sex		Age (years)		Left hemisphere	Right hemisphere	Benign	Malignant	Resection
	Male	Female	Range	Average					
Metastasis	6	4	36-75	55.6	6	4	0	10	5
Gliomas	9	10	14-56	35.2	6	13	6	10	16
Meningioma	3	5	36-69	56.9	1	7	7	1	8
AVM	3	0	12-26	21.3	1	2	3	0	2
Hemangioma	2	2	7-72	33.3	2	2	4	0	3
Arachnoid cyst	0	2	30-62	46	1	1	2	0	2

1.1.2 正常对照组 15例,均为右利手者,其中男11例,女4例,年龄35~69岁,平均48.6岁。左、右手运动共完成22次手运动fMRI检查。

1.2 成像设备

成像设备为Philips公司Inera master 1.5 T超导型磁共振扫描仪,梯度场强度为30 mT/m,梯度切换率为150 mT/(m·s),采用标准正交头颅线圈或多通道相控阵头颅线圈。

1.3 检查方法

1.3.1 常规扫描 包括T₁加权(T₁-weighted imaging, T₁-WI)平扫和增强扫描横断面、冠状面和矢状面,T₂加权(T₂-weighted imaging, T₂-WI)横断面,FLAIR序列横断面。扫描层厚均为5 mm,层距为0.5 mm,横断面以听眦线为基线,共20层。冠状面以垂直听眦线为基线,共12层。增强所用造影剂为Gd-DTPA,剂量按0.1~0.2 mmol/kg静脉给药。

1.3.2 功能MRI(fMRI)扫描 采用回波平面成像(echo planar imaging, EPI)加快速梯度回波(fast

field echo, FFE)序列,扫描参数:TR=3000 ms,TE=150 ms,Flip角为90°,视野(FOV)为230×230,采样距阵为96×96,重建距阵为128×128。层厚为4 mm,层距为0。以平行于胼胝体前、后联合的连线为基线,共16层,上缘完全包括额、顶叶皮层,下缘到小脑幕水平。

1.3.3 高分辨T₁WI扫描 以与fMRI相同的层厚、层距、视野、基线和层数获得标准高分辨T₁WI像。

1.4 手运动任务设计和图像采集

采用组块设计方法,手运动用五指对掌开合的方式进行。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,共80个动态,1280幅图。

1.5 图像后处理

包括以下步骤:确定数据处理范围;头动校准及图像空间平滑;图像的时间平滑;激活区像素最小值设定;Z值阈值设定;Z-score图与高分辨T₁WI图融合。

1.6 fMRI 图像的研究内容

1.6.1 对照组 观察 SM1 激活的位置、形态、分布并计算手运动的对侧、同侧 SM1 激活的出现率。观察双侧运动前区 (premotor cortex, PM), 补充运动区 (supplementary motor area, SMA) 和扣带回 (cingulate motor area, CMA) 的激活并计算其出现率。

1.6.2 病变组 观察手运动对侧 (病变同侧) SM1 激活区出现的形式、位置、有否变形和/或移位。测量病变最大径线。在病变与 SM1 激活区同一层面测量病变至 SM1 激活区的最短距离。

观察并统计不同性质、距同侧 SM1 的不同距离的肿瘤致双侧 SM1、PM、SMA 和 CMA 激活的出现率并与正常组比较。

1.7 统计学处理

采用 SPSS 11.3 统计软件包,对两组激活出现率的比较用四格表卡方检验 (Chi-square),三组间激活出现率比较用 R×C 表卡方检验,取 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 正常对照组的手运动 fMRI 表现

SM1 激活区出现在中央前后回处,可在侧脑室顶以上 2-6 个层面显示。激活区的形态呈斑片或不规则状,其长轴多数呈沿脑皮层内外走行。不同个体间不完全相同,运动手对侧 SM1 的激活范围较同侧大。22 次手运动的双侧 SM1、PM、SMA 和 CMA 的激活出现率分别为:对侧 SM1 100% (22/22),同侧 SM1 81.8% (18/22);对侧 PM 54% (12/22),同侧 PM 27% (6/22);对侧 SMA 36% (8/22),同侧 SMA 9% (2/22);对侧 CMA 14% (3/22),同侧 CMA 为零。

2.2 病变组的 fMRI 表现

2.2.1 不同类型占位病变的最大径 测量结果见表 2。

表 2 占位病变与运动相关皮层兴奋的关系

Table 2 The relationship between occupying lesions and cortex activation

Type	n	Size of lesion(cm)	SM1		PM		SMA		CMA		Mini distance between Lesion and MCAA (mm)
			Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	
Metastasis	10	1.3- 12.1(3.8)	8*	6	3	4	4	6	1	1	0- 36.0 (14.2)
Gliomas	19	1.8- 15(6.1)	14	10	5	7	13	5	3	3	0- 45.0 (11.99)
Meningioma	8	1.1- 12.8(6.4)	7	3	2	1	5	1	2	0	2- 44.0 (19.89)
AVM	3	5- 12(8)	3	1	2	2	2	1	0	0	0- 30.0 (11.27)
Hemangioma	4	1.6- 6.2(3.5)	4	2	1	1	0	0	0	0	1.6- 13.3 (7.37)
Arachnoid cyst	2	8.8- 10.8(9.8)	2	1	1	1	1	0	0	0	13.9- 26.0 (19.9)

AVM: arterial-venal malformation; MCAA: motor cortex activation; * The number of cortex activation area; SM1: sensorimotor cortex; PM: premotor cortex; SMA: Supplementary motor area; CMA: cingulate motor area; Ipsi-: Ipsilateral; Contra-: Contralateral; The same signs were used in table 3-6

2.2.2 病变组 SM1 激活的形态、位置和出现率 运动对侧 (肿瘤同侧) 的 SM1 激活的形态表现与正常对照组相似,即在中央前、后回区呈斑片或不规则形的高信号区,测量其信号的变化曲线,则与静止、运动时相吻合。大多数未变形的激活区其长轴可在多个层面显示,沿皮层分布内外走行。其形态、位置和出现频率因肿瘤的性质、大小及肿瘤距 SM1 的最短距离不同而有差异 (表 2)。

各类占位病变距同侧 SM1 的最短距离在 0-45 mm 之间,平均 14.1 mm。其中距离为零的有 6 例 (SM1 区被肿瘤占据、破坏),在 10 mm 内的 15 例 (图 1),10-20 mm 的 11 例、大于 20 mm 的 14

例。SM1 激活区可因与肿瘤的位置关系向不同方向移位,其中向后移位 9 例,向前移位 5 例,向内移位 3 例,向外移位 2 例,向上移位 2 例,向下移位 1 例。移位明显的 SM1 激活区多有一定程度的变形,同时可见邻近的脑回和中央沟移位和变形 (图 2)。总的肿瘤同侧 SM1 出现率见表 2。占位病变对侧半球的 SM1 激活出现频率和范围均较肿瘤同侧小。

2.2.3 病变组非主要运动区的激活 非主要运动区中以 SMA 激活出现频率最高,特别是病变同侧,而 CMA 出现激活率最低 (表 2)。激活区的形态亦呈斑片状或不规则形。范围较病变同侧的

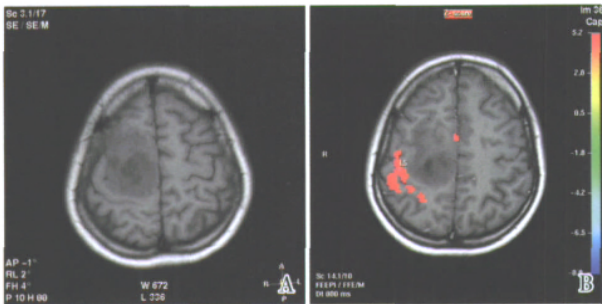


图 1 右额顶叶 级星形细胞瘤

Fig.1 The gliomas in right parietofrontal lobe

Female, 23 years old; A: Axial T1WI; B: The distortion and out-posterior shift of SM1 activation is shown in functional MRI. The distance between tumor and SM1 is within 1 cm

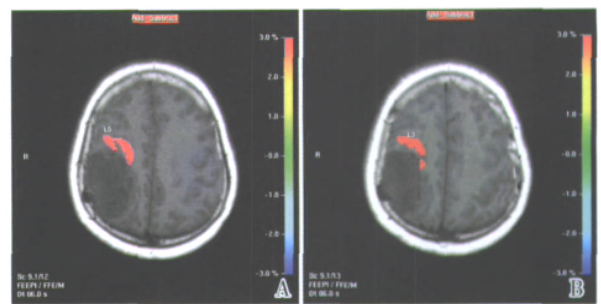


图 2 右顶叶囊性脑膜瘤

Fig.2 The cystic meningioma in the right parietal lobe

Female, 55 years old; A, B: Obviously anterior shift of SM1 is shown in functional MRI.

SM1 激活区小。

2.2.4 对感觉运动区的影响 占位病变距 SM1 不同距离及不同占位病变性质对感觉运动区的影响为：距 SM1 不同距离对双侧 SM1、PM、SMA 及 CMA 激活的影响：距同侧 SM1 不同距离对双侧 SM1、PM、SMA 及 CMA 激活的出现率的影响及组间比较的 P 值经 R×C 表长方检验，3 组间仅病变同侧半球 SM1 出现率有统计学差异，0~1 cm 组同侧 SM1 激活出现率最低。将 1~2 cm 与 <1 cm 合并后与 >2 cm 组比较，双侧 SM1、PM、SMA 及 CMA 的激活出现率均无统计学差异（表 3）。距同侧 SM1 2 cm 内，良、恶性占位病变对主要和非主要运动皮层的影响距同侧 SM1 2 cm 内，良、恶性占

位病变在双侧 SM1、PM、SMA 及 CMA 激活的出现率及组间比较的 P 值经四格表卡方检验，病变同侧 SM1，对侧 SMA 和对侧 CMA 的激活出现率在两组间有统计学差异，恶性组同侧 SM1 激活出现率低于良性组，但对侧 SMA 和 CMA 激活出现率高于良性组（表 4）。距同侧 SM1 2 cm 内所有占位病变与正常组间在主要、非主要运动区激活出现率的比较，距同 SM1 2 cm 内所有占位病变及正常对照组在双侧 SM1、PM、SMA 和 CMA 的激活出现率及组间比较的 P 值经四格表卡方检验，占位病变对侧 SMA 的激活出现率有统计学意义，病变组 SMA 激活率比正常组高，同侧 SM1（相当正常组手运动对侧）接近有统计学意义，病变组 SM1 较正

表 3 距同侧 SM1 不同距离对脑运动皮层激活的影响

Table 3 Affection to motor cortex activation in different distances from ipsilateral SM1

Distance	n	SM1		PM		SMA		CMA	
		Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-
> 2 cm	14	13	5	4	3	8	6	0	1
1-2 cm	11	11	6	4	4	4	2	1	0
< 1 cm	21	15	14	7	6	12	9	3	2
χ^2		8.214	3.244	0.179	0.680	1.448	2.187	2.162	1.086
P		0.016	0.198	0.914	0.712	0.485	0.335	0.39	0.581

表 4 距同侧 SM1 2 cm 内良、恶性占位病变对脑运动皮层激活的影响

Table 4 Affection to activation of motor cortices for benign and malignant tumors within 2 cm from ipsilateral SM1

Distance	n	SM1		PM		SMA		CMA	
		Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-
Benign	15	15	7	6	3	7	4	2	0
Malignant	16	10	11	4	6	7	5	2	1
χ^2		6.975	1.551	1.224	1.151	0.027	18.997	0.005	27.248
P		0.008	0.213	0.269	0.283	0.87	0.000	0.945	0.000

常组出现率低(表 5)。距同侧 SM1 2 cm 内恶性占位病变与正常组在主要、非主要运动皮层激活的比较,距同侧 SM1 2 cm 内恶性占位病变及正常组在双侧 SM1、PM、SMA 和 CMA 激活出现率及组

间比较 P 值经四格表卡方检验,仅占位病变同侧 SM1(相当于正常对侧)激活出现率有统计学意义,病变组 SM1 激活出现率低于正常组(表 6)。

表 5 距同侧 SM1 2 cm 内的肿瘤与正常对照组在运动皮层激活的比较

Table 5 Comparison of motor cortex activations between tumors within 2 cm from ipsilateral SM1 and normal group

Distance	n	SM1		PM		SMA		CMA	
		Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-
Tumor	32	27	20	11	10	16	11	4	2
Normal	22	22	18	12	6	8	2	3	0
χ^2		3.788	2.333	2.169	0.099	1.721	4.560	0.015	1.428
P		0.052	0.127	0.141	0.753	0.322	0.033	0.903	0.232

表 6 距同侧 SM1 2 cm 内恶性肿瘤与正常对照组在运动皮层激活的比较

Table 6 Comparison of motor cortex activations between malignant tumors within 2 cm from ipsilateral SM1 and normal group

Distance	n	SM1		PM		SMA		CMA	
		Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-	Ipsi-	Contra-
Tumor	16	10	11	4	6	7	5	2	1
Normal	22	22	18	12	6	8	2	3	0
χ^2		9.797	0.875	3.317	0.448	0.212	3.027	0.010	1.412
P		0.002	0.35	0.069	0.503	0.646	0.082	0.919	0.235

3 讨 论

在神经外科开颅切除位于脑重要功能皮层区附近的肿瘤以前,精确定位这些皮层功能,明确肿瘤与功能区的关系以及对功能区的影响,尤其是运动功能皮层区十分重要,可在术前估计肿瘤切除程度,预测手术对功能的影响。为了达到这些目的,在 fMRI 出现以前,主要是通过开颅皮层下电刺激或术中感觉诱发电位来实现,近年来正电子发射断层(Positron Emission Tomography, PET)、单光子发射计算机(Single Photo Emission Computed Tomography, SPECT)、经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)和脑磁图(Magnetoencephalography, MEG)也有用于临床脑皮层的功能定位^[3-6]。但上述的皮层定位方法均有许多不足或缺陷。如开颅内皮下电刺激或术中感觉诱发电位虽然准确度高,但由于其侵袭性,不能在术前就对肿瘤切除的可行性进行评估,且术中定位明显延长了手术时间,增加了危险性。

fMRI 既能显示大脑的解剖结构,又能间接反映脑组织的功能信息变化,同时又是一种非侵袭

性,无辐射可重复应用的检查方法,因而得到广大神经外科医师的推荐和使用^[7,8]。fMRI 图像产生是基于 Ogawa 等^[9,10]提出的 BOLD 效应(血氧水平依赖),它利用局部血氧水平状态差异可改变信号强度而产生信号对比差的原理,间接显示出肢体的脑运动皮层支配区域。运用 fMRI 不仅可以确定运动功能皮层与肿瘤的关系,而且可了解肿瘤对主要和非主要运动区的影响,评估在切除肿瘤时对运动皮层的影响及手术的预后。

本文针对肿瘤的良好性及肿瘤距同侧 SM1 的不同距离对各运动区的影响进行了研究,从运动皮层区激活出现率来看,如果仅从肿瘤与同侧 SM1 激活的最短距离分析,则除肿瘤同侧 SM1 激活出现率低外,距离的远近在对侧 SM1、双侧 SMA 和 CMA 区所致的激活出现率无差异。说明肿瘤至 SM1 的距离并没有改变除同侧 SM1 以外各相关运动区的激活。肿瘤对同侧 SM1 的影响,则距 SM1 距离在 1 cm 以内比 1 cm 以外者有明显差异。

肿瘤良恶性组比较中,对距同侧 SM1 2 cm 内的肿瘤来说,恶性肿瘤除 SM1 激活出现率低外,对侧 SMA、CMA 出现率高于良性肿瘤,说明在恶

性肿瘤侵袭破坏同侧 SM1 时,对侧非主要运动区发生代偿作用。在与正常组的对比中,恶性组同侧 SM1 明显低于正常组,如不分良恶性,则对 SM1 的影响区别不显著,说明恶性肿瘤对运动区的影响更大。对于其他运动区激活率似乎差异不大,仅有肿瘤对侧 SMA 出现率高于正常组,这似乎意味着总体肿瘤组所致的其他运动皮层代偿现象不明显,这一现象有待进一步研究证实。

文献上对中央沟周围肿瘤是否导致其他运动皮层的代偿研究不多^[11-13]。Fandio 等^[14]研究了一组 11 例中央沟附近肿瘤的病人,发现 SM1、PM 和 SMA 的激活出现率与本组病例所见相近。Liu 等^[15]对一组 33 例肿瘤所致的 SM1 和 SMA 激活体积作了研究,他们将肿瘤分为四组,即近 SM1 的脑内组,近 SM1 的脑外组,远离 SM1 的脑内组和远离 SM1 的脑外组。结论是近 SM1 脑内组的同侧 SM1 激活体积最小,SMA 体积最大,远离 SM1 的脑外组 SM1 激活体积最大,SMA 体积最小,但与正常组对比,各组间的 SM1、SMA 体积无显著差异。他们的研究结果基本与本组病例研究结果相似。

从本研究结果发现,位于中央沟附近的颅内肿瘤,只有距 SM1 1 cm 内的肿瘤,特别是恶性肿瘤对同侧主要运动区影响大,SMA、CMA 可发生代偿;良性肿瘤或肿瘤距同侧 SM1 1 cm 以上对各运动区明显减弱。

参考文献:

- [1] DUNCAN P W, GOLDSTEIN L B, MATCHER D, et al. Measurement of motor recovery after stroke: outcome assessment and sample size requirements [J]. *Stroke*, 1992, 23(8):1084-1089.
- [2] NUDO R J. Recovery after damage to motor cortical areas [J]. *Curr Opin Neurobiol*, 1999, 9(6):740-747.
- [3] ROUX F E, BOULANOJAR K, RANJEVA J P, et al. Cortical intraoperative stimulation in brain tumors as tool to evaluate spatial data from motor fMRI [J]. *Invest Radiol*, 1999, 34(3): 225-229.
- [4] KRINGS T, SCHRECKENBERGER M, ROHDE V, et al. FMRI and 18F FDG- position emission tomography for presurgical planning: comparison with electrical cortical stimulation [J]. *Acta Neurochir*, 2002, 144(9): 889-899.
- [5] NISHIGAMA Y, YAMAMOTO Y, FUKUNAGA K, et al. Visualization of the motor activation area using SPECT in neurosurgical patients with lesions near the central sulcus [J]. *J Nucl Med* 2000, 41(3): 411-415.
- [6] INOUE T, SHIMIZU H, NAKASATO N, et al. Accuracy and limitation of functional MRI for identification of the central sulcus: comparison with magnetoencephalography in patients with brain tumors [J]. *Neuroimage*, 1999, 10(6): 738-748.
- [7] BOGOMDNY D L, PETROVICH N M, HOU B L, et al. fMRI in the brain tumor patients [J]. *Top Magn Reson Imaging*, 2004, 15(5): 325-335.
- [8] MAJOS A, TYBOR K, STEFANCZYK L, et al. Cortical mapping by fMRI in patients with brain tumors [J]. *Eur Radiol*, 2005, 15(6): 1148-1158.
- [9] OGAWA S, LEE T M, NAGAKAWA S, et al. Oxygenation-sensitive contrast in MRI of rodent brain of high magnetic field [J]. *Magn Reson Med*, 1990, 14(1): 68-78.
- [10] OGAWA S, LEE T M, KAY A R, et al. Brain MRI with contrast dependent on blood oxygenation [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1990, 87(24): 9868-9872.
- [11] FELLNER C, SCHLAIER J, FELLNER F, et al. fMRI of the motor cortex in healthy volunteers and patients with brain tumors: qualitative and quantitative results [J]. *Rontgenpraxis*, 1999, 52(1): 3-14.
- [12] ROUX F E, BOULANOJAR K, IBARROLA D, et al. fMRI and intraoperative brain mapping to evaluate brain plasticity in patients with brain tumors and hemiparesis [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2000, 69(4): 453-463.
- [13] CARPENTIER A C, CONSTABLE R T, SCHLOSSER M J, et al. Patterns of fMRI activation in association with structural lesions in the rolandic region: a classification system [J]. *J Neurosurg*, 2001, 94(6): 946-954.
- [14] FANDINO J, KOLLIAS S S, WIESER H G. Intraoperative validation of fMRI and cortical reorganization patterns in patients with brain tumors involving the primary motor cortex [J]. *J Neurosurg*, 1999, 91(2):238-250.
- [15] LIU W C, FELDMAN S C, SCHULDER M, et al. The effect of tumour type and distance on activation in the motor cortex [J]. *Neuroradiology*, 2005, 47(11): 813-819.

(编辑 张恩健)