

## · 中枢神经系统放射学 ·

## 利手和非利手随意运动的全脑功能磁共振成像

于薇 林冲宇 臧玉峰 晏子旭 马晓海 张兆琪 翁旭初

**【摘要】** 目的 利用全脑功能磁共振成像(fMRI)技术,探讨参与利手和非利手简单随意运动的关键脑结构。方法 采用 Siemens 公司 Sonata 1.5 T 磁共振成像系统,对 7 名健康右利手志愿者的利手或非利手食指按键运动进行了全脑扫描。数据经头动矫正、空间标准化、空间平滑等预处理后,通过互相关分析分别获得利手和非利手运动的脑激活统计参数图。结果 利手运动主要激活对侧初级运动区(MI)、双侧辅助运动区(SMA)、双侧运动二区(MII)和同侧小脑,而非利手运动除以上区域外还激活了对侧前运动区(PMC),而且 SMA 和 MII 的激活体积大于利手运动。结论 全脑 fMRI 研究表明,随意运动依赖于大脑皮质和小脑等许多脑结构的参与。与利手运动相比,非利手运动更依赖于 SMA 和 PMC 等高级运动控制区。

**【关键词】** 磁共振成像; 手; 半球优势; 脑

**Whole brain functional magnetic resonance imaging of human brain during voluntary movements of dominant and subdominant hands** YU Wei\*, LIN Chong-yu, ZANG Yufeng, YAN Zi-xu, MA Xiaohai, ZHANG Zhaoqi, WENG Xu-chu. Department of Radiology, Anzhen Hospital, Capital University of Medical Sciences, Beijing 100029, China

**【Abstract】 Objective** To identify the neural substrates of voluntary movements of dominant and subdominant hands by using the whole brain functional magnetic resonance imaging. **Methods** Seven right handed healthy volunteers were scanned at a Sonata 1.5 Tesla magnetic resonance imaging scanner (Siemens) while they were performing the visually instructive movement tasks with their right and left index fingers. Image data were coregistered to correct head motion, spatially normalized according to the standard coordinates, and spatially smoothed with isotropic Gaussian Kernel. Statistical parametric maps (activation maps) for right and left hands were generated respectively by cross correlation analysis. **Results** Voluntary movements of the right/ dominant hand mainly activated contralateral primary motor cortex (MI), bilateral supplementary motor area (SMA), bilateral second motor area (MII), and ipsilateral cerebellum, whereas movements of the left/ subdominant hand additionally elicited activation in contralateral premotor area (PMC). Moreover, activation volumes in SMA and MII during movements of the subdominant hand were significantly larger than those during movements of the dominant hand. **Conclusion** A large set of structures in the cerebral cortex and cerebellum is involved in voluntary movements, as revealed by whole brain based fMRI. Movements of the subdominant hand are more dependent on higher control areas, such as SMA and PMC, comparing to movements of the dominant hand.

**【Key words】** Magnetic resonance imaging; Hand; Dominance; Brain

随意运动的中枢控制机制在神经科学基础研究和神经病学临床实践中都有重要的意义。近年来,随着脑功能成像技术,特别是功能磁共振成像(fMRI)技术的发展<sup>[1,2]</sup>,这一领域取得许多重要进展。这些研究表明,随意运动涉及初级运动区(MI)、辅助运动区(SMA)、前运动区皮质(PMC)、小脑和基底节等许多脑结构<sup>[3-5]</sup>。但现有的脑功能成像研究尚有许多不足之处。(1)大多数研究只观察局部脑区,这样必然遗

漏一些重要脑区,而且不利于探讨不同脑结构之间的相互关系;(2)大多数研究只考察利手运动的脑结构基础,而忽略了非利手运动。为此,本研究利用最近发展起来的基于全脑的功能磁共振成像(fMRI)技术,较系统地分析和比较了利手和非利手运动时大脑皮质和小脑运动相关脑区的活动规律。

## 材料与方 法

## 一、一般资料

健康志愿者 7 名,男 4 名,女 3 名,年龄 17~37 岁,均根据标准量表确定为右利手<sup>[6]</sup>。均无精神病、神经病及脑外伤史,实验期间无用药记录。

## 二、实验任务

实验过程中,志愿者平躺在磁体内,双手放松,食指轻置

基金项目:国家自然科学基金委员会资助项目(30170325, 30128005)

作者单位:100029 北京,首都医科大学附属安贞医院放射科(于薇、晏子旭、马晓海、张兆琪);100101 北京,中国科学院心理研究所脑高级功能研究室(林冲宇、臧玉峰、翁旭初)

于按键上,根据计算机生成的视觉提示信号分别进行左手或右手食指按键运动。提示信号以组块方式每 1.5 s 呈现 1 次,每一组块持续 24 s。各组块之间插入 24 s 控制任务。期间要求志愿者将食指轻轻置于按键上但不做运动。左右手组块按伪随机方式各重复 3 次,整个实验序列持续 324 s。

三、扫描设备和扫描参数

1. 扫描设备:德国 Siemens 公司生产的 Sonata 1.5 T 磁共振成像系统。

2. 二维结构像:采用 SE 序列 T<sub>1</sub>WI, 轴面, TR 442 ms, TE 15 ms, 翻转角 90°, 层厚 5 mm, 间距 1 mm, 层数 20, 视野 192 mm × 192 mm, 矩阵 256 × 256。

3. 三维全脑结构像:采用小角度激发快速梯度回波序列(fast low angle shot, FLASH)T<sub>1</sub>WI, 矢状面, TR 30 ms, TE 1.17 ms, 翻转角 35°, 层数 128 层, 层厚 1.3 mm, 间距 0.26 mm, 矩阵 192 × 256。

4. 功能像:采用梯度回波回波平面成像(gradient echo, echo planar imaging, GE EPI)序列 T<sub>2</sub><sup>\*</sup>WI, 在与结构像相同的位置扫描, TR 100 ms(每层), TE 60 ms, 翻转角 90°, 视野 220 mm × 220 mm, 矩阵 64 × 64, 帧数= 162 帧/层, 时间 324 s。

四、数据分析

采用国际上通用的功能性神经成像分析(analysis of functional neuroimages, AFNI)软件包<sup>[7]</sup>对数据进行预处理和统计学分析。首先对功能像进行头动校正(以第 2 层为准进行时间序列对齐)并与三维像配准;然后进行空间标准化和空间平滑处理[各向同性高斯平滑, 半高全宽(FWHM) = 4 mm];最后采用互相关分析方法计算各个体素(voxel)的信号与实验任务参考波之间的相关程度,统计结果用伪彩色显示,并叠加于三维结构像上生成统计参数图(statistical parametric map)。

结 果

图 1 和表 1 分别显示了 7 例左手和右手运动的平均统计激活图和主要激活

区的 Talairach 和 Tournoux 脑图谱中心坐标<sup>[8]</sup>。根据解剖标志和激活区中心坐标所确定的兴趣区(region of interest, ROI)包括 MI(初级运动区)、SMA(辅助运动区)、PMC(前运动区)、MII(运动二区)和同侧小脑和小脑皮质。

由图 1 可见,尽管左、右手运动都分别激活了对侧的 MI、同侧小脑及双侧 SMA 和 MII,但左手运动不但进一步激活了右侧 PMC,而且各脑区的激活范围都大于右手运动。表 1 给出了各个脑区的平均激活体积。总体看来,左手运动时各脑区的激活体积都大于右手运动,但不同脑区的激活体积的差异程度有所不同。其中对侧 MI 的差别最小,同侧小脑皮质次之,双侧 SMA 和 MII 的差别最大,而对侧 PMC 只有在左手运动时才见激活。说明利手与非利手运动脑结构基础的差异主要体现在 MII、PMC 和 SMA。值得注意的是,对于 MII,左右手运动都以右侧的激活体积较大。

讨 论

本研究利用全脑 fMRI 技术观察了右利手志愿者进行视

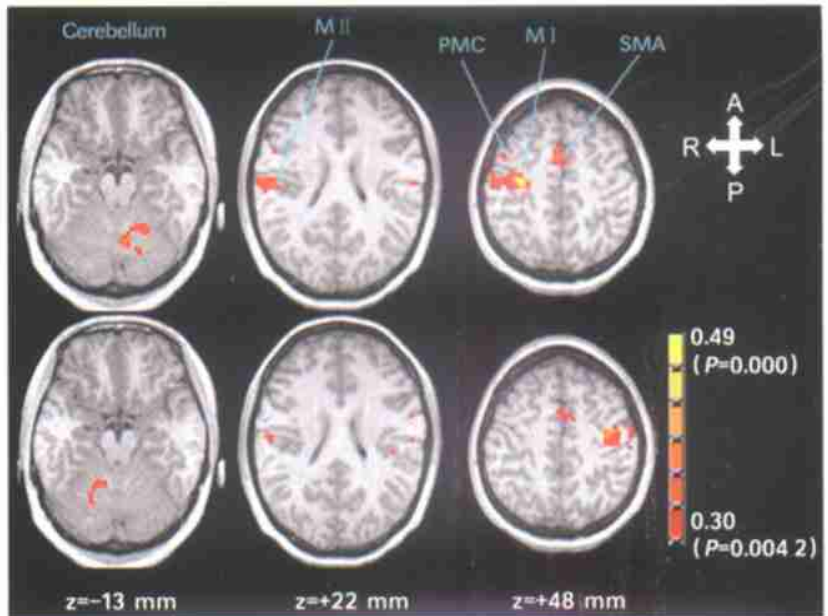


图 1 左手(上排)与右手(下排)运动的激活区比较。激活区由伪彩色表示,右下方颜色条显示了伪颜色的统计意义(相关系数和相应的 P 值,相关系数越大,参与活动的脑区激活越强)。A: 前部;P: 后部;R: 右侧;L: 左侧。z: 在标准脑图谱坐标系<sup>[8]</sup>中的水平位置

表 1 不同部位左右手运动激活区的中心坐标和激活体积比较

部位	左手运动激活区				右手运动激活区			
	体积 (mm <sup>3</sup> )	中心坐标			体积 (mm <sup>3</sup> )	中心坐标		
		x	y	z		x	y	z
对侧 MI	5 211	- 37.2	14.4	53.7	4 050	42.0	13.3	49.7
对侧 PMC	486	- 45.3	- 2.7	44.7	-	-	-	-
双侧 SMA	2 079	- 0.9	- 1.4	50.4	1 107	3.5	- 0.4	50.8
右侧 MII	2 133	- 54.0	16.0	21.7	189	- 53.4	14.0	25.2
左侧 MII	324	55.4	14.8	27.1	27	55.5	16.5	23.5
同侧小脑	1 782	10.7	54.4	- 11.5	1 296	- 11.1	55.9	- 10.3

觉引导的单指随意运动的脑激活特点。结果表明,无论是利手还是非利手运动,除对侧 MI 和同侧小脑外,双侧 SMA 和 MII 等次级运动区也见明显激活,而且非利手运动还进一步激活了对侧 PMC。早期对随意运动的脑功能成像研究大多只观察到 MI 的激活<sup>[9]</sup>,近年来随着脑功能成像技术灵敏度的提高,越来越多的脑区被确定与随意运动相关<sup>[10]</sup>。

利用全脑扫描技术,笔者观察到利手和非利手运动都显著激活了 MII。这一脑区在一般脑功能成像研究中较少报道,可能与大多数研究的扫描范围没有覆盖这一脑区有关<sup>[9]</sup>。MII 最早由著名的加拿大神经外科医生、诺贝尔奖获得者 Penfield 发现。他观察到,在进行局麻开颅手术时用微电流刺激中央前、后回下部,可引起病人不规则的手足运动,并伴有相应的运动感觉<sup>[11]</sup>。本研究表明, MII 的确参与了随意运动,因此,这一脑区在运动控制中的作用应引起医学界和神经科学研究领域的重视,并值得进一步研究。

除大脑皮质外,笔者还观察到随意运动可以显著激活同侧小脑,这与神经解剖关于小脑支配同侧肢体运动的经典观点完全吻合。笔者曾利用事件相关 fMRI 技术观察到双侧小脑皮质参与复杂随意运动的证据<sup>[4]</sup>。结合本研究结果,可以认为,简单运动主要依赖于同侧小脑,而当运动复杂程度提高时,需要进一步依赖于对侧小脑的参与。

以上研究结果表明,即使是对于单手指运动这样简单的随意运动仍依赖于大脑和小脑多个脑区的协同控制。这一结论在临床实践中有一定指导意义。在运动系统疾病诊断、治疗和康复过程中,不应只考虑 MI 而忽视其他脑结构的作用。这些结果还进一步提示,全脑 fMRI 技术对更全面地了解随意运动的脑结构基础具有重要意义。

近年来,虽有不少研究者探讨了左利手者和右利手者利手条件下的随意运动的脑结构基础<sup>[12,13]</sup>,但尚未见到直接比较利手和非利手运动脑结构基础差异的报道。为此,本研究较系统地比较了利手(右手)和非利手(左手)随意运动的脑结构基础的差异。结果表明:(1)与利手运动相比,非利手运动进一步激活了对侧 PMC;(2)各脑区的激活体积非利手运动均比利手运动大。本研究所观察到的利手和非利手运动脑激活特点的差异可能与非利手运动任务难度较大有关。Sadato 等<sup>[14]</sup>分析了运动复杂程度与脑区激活强度之间的关系,结果发现,MI 的激活强度在难度不同的运动时保持恒定,而其他与运动有关的脑区的激活强度随着任务难度加大而增加。Tanji 等<sup>[3]</sup>曾在猕猴单个神经元记录中发现,SMA 和 PMC 神经元活动随运动难度的提高而增强,而 MI 神经元活动在不同运动任务中没有明显变化。

本研究还显示,左、右利手运动激活体积的差异在不同脑区有所不同,其中以 SMA 和 MII 的差异较大,而 PMC 只在非利手运动时被激活。PMC 被证明参与由外源性感觉信号引导的运动准备<sup>[16,17]</sup>,而笔者以前的工作<sup>[3]</sup>和 Baraldi 等<sup>[18]</sup>的研究均发现,当运动复杂程度提高时,PMC 的激活体积随之增大。由于本研究采用了外源性视觉信号引导的运动任务,因此更确切地说,PMC 可能参与外源性感觉信号引导的

任务难度较大的运动准备过程。SMA 也被认为参与随意运动的准备,但主要与内源性信号启动的运动准备有关<sup>[19,20]</sup>。但本研究结果并不支持这一观点,笔者的结果显示,即使在外源视觉信号引导的运动任务中,双侧 SMA 仍有显著激活。笔者还进一步观察到,非利手运动激活 SMA 的体积明显大于利手运动。从解剖位置判断,其增大部分很可能是前辅助运动区(Pre SMA)。Pre SMA 是近年来新发现的 1 个与运动功能有关的脑区,被认为参与运动编码和计划<sup>[21]</sup>。笔者<sup>[3]</sup>最近发现,Pre SMA 参与序列运动的准备,但不参与运动的执行。因此可以认为,Pre SMA 主要与较高级的运动控制功能有关。

最后需要指出的是,由于可以在单个个体上获得较为丰富的数据,并可对各种实验条件进行严格控制,因此大多数 fMRI 研究只需观察小样本甚至单个病人<sup>[22]</sup>。这是 MRI 比其他脑功能成像技术优越之处,在临床上有重要意义。正是由于可以在单个个体上获得可靠的结果, MRI 用于术前功能定位和制定外科手术计划才有可能实现。

## 参 考 文 献

- 1 马林,翁旭初. 功能磁共振成像正从基础研究走向临床应用. 中华放射学杂志, 2002, 36: 197.
- 2 Weng X, Ding YS, Volkow ND. Imaging the functioning human brain. Proc Natl Acad Sci USA, 1999, 96: 11073-11074.
- 3 Weng XC, Li EZ, Zang YF, et al. Neural correlates of sequential finger movements revealed by event related fMRI. Neuroimage, 2000, 11: S920.
- 4 Cui SZ, Li EZ, Zang YF, et al. Both sides of human cerebellum involved in preparation and execution of sequential movements. Neuroreport, 2000, 11: 3849-3853.
- 5 Tanji J. Sequential organization of multiple movements: involvement of cortical motor areas (Review). Annu Rev Neurosci, 2001, 24: 631-651.
- 6 李心天. 中国人的左右利手分布. 心理学报, 1983, 3: 268-275.
- 7 Cox RW. AFNI: Software for analysis and visualization of functional magnetic resonance neuroimages. Comput Biomed Res, 1996, 29: 162-173.
- 8 Talairach J, Tournoux P. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. New York: Thieme Medical Publishers Inc, 1988. 81-110.
- 9 Roland PE, Larsen B, Lassen NA, et al. Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. J Neurophysiol, 1980, 43: 118-136.
- 10 Kollias SS, Alkadhi H, Jaermann T, et al. Identification of multiple nonprimary motor cortical areas with simple movements. Brain Res Rev, 2001, 36: 185-195.
- 11 张培林, 主编. 神经解剖学. 北京: 人民卫生出版社, 1987. 404-423.
- 12 Solodkin A, Hlstick P, Noll DC, et al. Lateralization of motor circuits and handedness during finger movements. Eur J Neurology, 2001, 8: 425-434.
- 13 Volkman J, Schmizler A, Witte OW, et al. Handedness and asymmetry of hand representation in human motor cortex. J Neurophysiol, 1998, 79: 2149-2154.
- 14 Sadato N, Campbell G, Hanez V, et al. Complexity affects regional cerebral blood flow change during sequential finger movements. J Neurosci, 1996, 16: 2693-2700.
- 15 Tanji J, Mushiaki H. Comparison of neuronal activity in the supplementary motor area and primary motor cortex. Cogn Brain Res, 1996, 3: 143-150.

- 16 Cunnington R, Windischberger C, Deecke L, et al. The preparation and execution of self initiated and externally triggered movement: a study of event related fMRI. *Neuroimage*, 2002, 15: 373-385.
- 17 Van Oostende S, Van Hecke P, Snaert S, et al. FMRI studies of the supplementary motor area and the premotor cortex. *Neuroimage*, 1997, 6: 181-190.
- 18 Baraldi P, Porro CA, Serafini M, et al. Bilateral representation of sequential finger movements in human cortical areas. *Neurosci Lett*, 1999, 269: 95-98.
- 19 Deiber MP, Honda M, Ibanez V, et al. Mesial motor areas in self initiated versus externally triggered movements examined with fMRI: effect of movement type and rate. *J Neurophysiol*, 1999, 81: 3065-3077.
- 20 Thickbrom GW, Bymes ML, Sacco P, et al. The role of the supplementary motor area in externally timed movement: the influence of predictability of movement timing. *Brain Res*, 2000, 874: 233-241.
- 21 Lee KM, Chang KH, Roh JK. Subregions within the supplementary motor area activated at different stages of movement preparation and execution. *Neuroimage*, 1999, 9: 117-123.
- 22 Savoy RL. History and future directions of human brain mapping and functional neuroimaging. *Acta Psychol*, 2001, 107: 9-42.

(收稿日期: 2002 06 02)

(本文编辑: 王红剑 史红)

## 脊髓室管膜下瘤的 MR 影像诊断

任爱军 高培毅

**【摘要】** 目的 研究脊髓内室管膜下瘤的 MRI 特征。方法 4 例脊髓室管膜下瘤均行 MR 检查并经手术病理证实, 均为男性, 年龄 15~47 岁, 平均 36.3 岁。回顾性分析脊髓内室管膜下瘤的 MRI 表现, 结合术中所见总结 MRI 诊断与鉴别诊断要点。结果 4 例脊髓内室管膜下瘤分别位于 C3~T3、C2~6、T6~12、C1~T2 段脊髓, 肿瘤均位于脊髓腹侧, 呈偏中心性生长。1 例有轻度脊髓空洞。MR T<sub>1</sub>WI 为等或低信号, 信号不均, 内有更低信号; T<sub>2</sub>WI 为高信号。2 例伴有小出血灶。增强扫描, 3 例肿瘤无强化或强化轻微, 1 例强化明显。结论 MRI 可以很好评价脊髓内室管膜下瘤, 当患者具备上述特点时高度提示脊髓内室管膜下瘤的可能。

**【关键词】** 神经胶质瘤, 室管膜下; 脊髓肿瘤; 磁共振成像

**MR imaging of intramedullary subependymoma** REN Aijun, GAO Peiyi. Department of Neuroradiology, Beijing Neurosurgical Institute, Beijing 100050, China

**【Abstract】 Objective** To delineate the MR imaging features of intramedullary subependymoma. **Methods** The MR imaging features of 4 cases of pathologically proved intramedullary subependymomas were analyzed retrospectively and correlated with operative reports, and the differential diagnosis was discussed. **Results** MR appearances of intramedullary subependymoma were as follows: (1) Intramedullary subependymoma often involved the cervical region or the extensive portions of the cervical and thoracic cord in 3 out of 4 cases, mainly affected adults, and was eccentric within the spinal cord. The tumor was in the thoracic lumbar cord in 1 case. (2) They were heterogeneously hypointense relative to the normal spinal cord on T<sub>1</sub>weighted images and hyperintense on T<sub>2</sub>weighted images, occasionally with hemorrhagic foci (2 cases). (3) No enhancement or minimal enhancement was revealed on T<sub>1</sub>weighted images following Gd DTPA administration (3 out of 4). **Conclusion** Intramedullary subependymoma are best delineated by MR imaging. The diagnosis of intramedullary subependymoma should be considered when above findings are confronted.

**【Key words】** Glioma, subependymal; Spinal cord neoplasms; Magnetic resonance imaging

室管膜下瘤是中枢神经系统 1 类少见的、生长缓慢的良性肿瘤, 脊髓内的室管膜下瘤更是非常罕见。国外文献报道较少, 据笔者检索尚未见国内文献报道。笔者报告 4 例经手术病理证实的脊髓内室管膜下瘤的 MR 影像资料, 并结合文献就其病理特点、MR 影像诊断及鉴别诊断做一初步探讨, 以提高对这一肿瘤的认识。

### 材料与方法

搜集 1999 年 7 月至 2001 年 8 月在我院行 MR 检查并均经手术病理证实的 4 例脊髓室管膜下瘤患者, 其中颈髓内室管膜下瘤 3 例, 胸髓 1 例; 全部为男性; 年龄分别为 15 岁、37 岁、46 岁、47 岁, 平均 36.3 岁。4 例患者症状表现相似, 主要为上下肢体无力, 最短病史 10 个月, 最长 3 年, 胸髓室管膜下瘤患者为髓管内囊肿术后 1 年, 双下肢无力 3 年。

所有患者均做了矢状面和横断面 T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI 平扫和增强扫描。MR 检查主要观察肿瘤的位置、范围和有无脊髓水

作者单位: 100050 北京市神经外科研究所神经影像中心(任爱军  
现在海军总医院放射科工作, 邮编 100036)