

运动相关大脑皮层的功能磁共振成像

王美豪, 祝一虹, 李建策, 黎金林, 吴恩福, 漆剑频

【摘要】 目的:应用功能磁共振成像技术对运动皮层在运动准备及执行阶段的功能活动分布进行研究。**方法:**应用事件相关功能磁共振成像技术,记录 14 名右利手健康受试者在序列手指运动过程中大脑皮层的功能活动,获得运动准备和运动执行阶段的脑激活图。**结果:**双侧辅助运动区前部、双侧运动前区后部及双侧后顶叶前部在运动准备与执行过程均有激活。**结论:**研究表明运动皮层存在于运动准备和执行阶段均有激活的脑功能区,事件相关功能磁共振成像技术可应用于脑活动机制的研究。

【关键词】 功能磁共振成像; 大脑皮质; 运动;

【中图分类号】 R445. 2; R338. 6 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2005)01-0015-03

Functional Magnetic Resonance Imaging of Cerebral Cortex Related to Movement WANG Mei-hao, ZHU Yi-hong, LI Jian-ce, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical College, Zhejiang 325000, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the functional activation areas in cerebral cortex related to movement, and assess whether preparation- and execution-related activity could be observed within individual motor areas. **Methods:** During event-related fMRI, fourteen right-handed healthy subjects performed a sequential movement task, to get the functional activation maps of related cerebral cortex during the preparation and execution periods of finger movement. **Results:** Bilateral pre-supplementary motor area (pre-SMA), posterior premotor cortex (PMC) and anterior posterior parietal cortex (PPC) were activated during both the preparation period and the execution period. **Conclusion:** These findings suggest that preparation- and execution-related activity could be observed within individual motor areas, the event-related fMRI technique is a feasible method in the study of the brain activity.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Cerebral cortex; Motor

功能解剖学提示,大脑皮层与运动相关的区域从前到后包括前额叶(prefrontal cortex)、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、运动前区(premotor cortex, PMC)、初级运动区(primary motor area, M1)、后顶叶皮层(posterior parietal cortex, PPC)等。一般认为在序列运动的执行过程中,包含运动准备和运动执行两个阶段。运动准备过程是通过各种感觉传入通路获得外界物体在空间位置上相互关系的信息,并将此信息与自身躯体和肢体的位置联系起来;运动执行阶段则负责传送运动指令到肌肉。

功能磁共振成像技术(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是当前研究脑认知活动的最有效的手段之一^[1]。事件相关功能磁共振成像(event-related fMRI)是最近几年发展起来的新技术^[2],能克服以往组块设计的缺点。以往的研究提示 M1 主要参

与运动执行,而 PMC 和 PPC 主要参与运动准备^[3]。但近几年来,这种单一的模式正在不断地被修正。本研究拟采用事件相关 fMRI 技术,结合延时序列运动任务,研究大脑皮层各运动相关区域在运动过程中的作用。

材料与方法

本研究 14 名健康志愿者中男 8 名,女 6 名,年龄 19~22 岁,平均 20.8 岁,大专以上文化程度,均为右利手,无精神神经疾病病史。

扫描设备及方法:采用 GE 公司的 Signa 1.5T 超导型磁共振成像系统,标准正交头线圈。常规扫描:采用 SE 序列横轴位 T₁ 加权像,成像参数:TR 400 ms, TE 9 ms,层厚 5 mm,间隔 1 mm,视野 240 mm×240 mm,矩阵 256×192,层数 15。功能像扫描:采用快速梯度回波-平面回波 (gradient echo planner imaging, GRE-EPI) 序列,横轴位,TR 2000 ms,TE 40 ms,翻转角 90°,层厚 5 mm,间隔 1 mm,视野 240 mm×240 mm,矩阵 64×64,层数 15,帧数 196 帧/层,扫描时间 6min40s。三维结构像扫描:FSE 序列,矢状位,T₁ 加

作者单位: 325000 浙江,温州医学院附属第一医院放射科(王美豪、李建策、黎金林、吴恩福);310031 浙江,浙江大学医学院心理教研室(祝一虹);430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科(漆剑频)

作者简介: 王美豪(1973—),男,浙江苍南人,主治医师,硕士,主要从事神经系统影像学研究工作。

基金项目:温州医学院科研发展基金(200122)

权, TR 500 ms, TE 10 ms, 翻转角 20.59° , 层厚 17 mm, 间隔 0 mm, 层数 80~90, 视野 $240\text{ mm} \times 240\text{ mm}$, 矩阵 256×160 。扫描时, 先采用 SE 序列 T_1 WI 获得全脑解剖图像, 作为功能像的参照; 再扫功能像 EPI 序列, 层厚、层间隔、角度与 SE 序列一致, 最后扫全脑 FSE 序列, 用以三维重建、空间配准及空间标准化。

实验任务: 实验时受试者取仰卧位, 双眼可通过头线圈上的反光镜舒适清楚地看清置于扫描床尾部的投影屏幕。扫描 SE、FSE 序列时闭眼, EPI 扫描时则要求受试者注视屏幕, 双眼球避免转动。用 E-Prime 软件编写刺激程序, 刺激呈现时间精确到 1 ms。仿照灵长类动物研究^[4]常用的信息提示-执行模式 (CUE-GO), 先呈现 CUE 信号, 提示受试者即将采用的运动模式, 经一段时间间隔后, 呈现 GO 信号, 要求受试者按照 CUE 提示的方式运动。每个序列包括 CUE、GO 两个任务, 共 14 个序列。序列内及序列间时间间隔不固定, 由 8~18 s 不等 (图 1)。

数据分析: 采用国际通用的功能影像学分析软件 (analysis of functional neuroimages AFNI) 进行数据处理和统计学分析。首先将功能像与三维结构像配准, 然后进行空间标准化及高斯平滑 (半高宽 5 mm), 最后采用互相关分析方法计算各像素的信号强度变化, 并获得功能图像与解剖图像融合的激活图。

结 果

1. 双侧辅助运动区 (SMA)

SMA 前部主要在准备阶段被激活, 前部与后部的交界区在执行阶段也有激活, 后部则主要在执行阶段被激活。说明 SMA 的内部功能分布存在差异, 前部以参与运动准备为主, 后部主要与运动执行有关, 二者交界区则存在准备和执行功能的重叠。

2. 双侧运动前区 (PMC) 和对侧初级运动区 (MI)

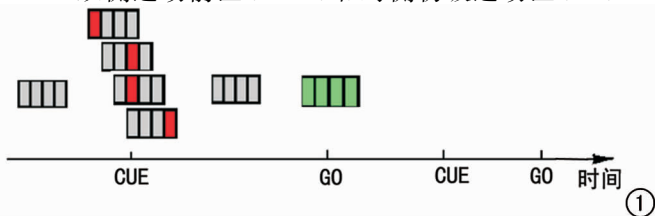


图 1 序列任务的屏幕呈现示意图。首先呈现四个白色竖条分别依次代表右手食指、中指、示指、小拇指。在每个序列起始, 竖条依次快速出现红色各一次, 出现的顺序随机, 请受试者记住该顺序, 但不能动手指, 代表运动准备任务。间隔一段时间后竖条变为绿色, 要求受试者以最快的速度按刚才记住的顺序依次作右手手指叩击运动, 代表运动执行任务。间隔一段时间后, 出现下一个序列。

准备任务激活了运动前区的大部分区域, 而执行任务激活其后部的小范围区域。对侧初级运动区在任务执行阶段有强激活, 而在准备阶段则未见明显激活。

3. 双侧后顶叶 (PPC)

双侧后顶叶在准备和执行阶段均有激活, 以左侧较明显。在准备阶段, 激活信号主要集中在双侧 PPC 的后部, 范围较大; 执行阶段, 信号主要集中在双侧 PPC 的前部, 范围较小; PPC 的前部存在运动准备和执行双重功能。

讨 论

本研究发现: 双侧辅助运动区前部、双侧运动前区后部、双侧后顶叶前部在运动准备与执行过程中均有激活; 与运动准备有关的激活主要集中在双侧运动前区前部, 双侧后顶叶后部; 与执行有关的激活区主要集中在对侧初级运动区, 双侧辅助运动区本部。其它 fMRI 研究虽然得出部分与我们类似的结果, 但不够全面^[5-7], 可能与二方面因素有关: 首先, 实验时任务的选择不同。以往研究者多采用简单运动, 如给出提示信息后受试者运动左、右手或不同的手指, 受试者只需简单的心理活动就能完成, 准备过程的激活信号不明显。而我们采用的是随机顺序的序列手指运动, 任务较复杂, 受试者需较多的心理活动参与; 此外, 事件相关技术的选择是我们获得较好的功能分布激活图的另一重要原因。

运动前区后部与初级运动区直接相邻且功能亦有重叠, 其主要功能是参与与运动执行。双侧运前区的前部与运动准备关系密切, 主要参与序列运动的时空组织过程^[8], 还可能参与了运动准备过程中运动序列的存储过程, PET 研究也认为运动前区与运动准备有关^[9]。但这些研究都未能区分运动前区前部和后部功能的不同。本研究发现双侧运动前区前部在准备阶段时被激活, 而后部在执行阶段也有明显激活。

神经心理学研究表明顶叶可起到整合的高级功能。有研究发现双侧顶叶背侧血流量随受试者接受信息的复杂程度而增强^[10], 而随着受试者对接受的信息较熟悉时, 顶叶血流量减少, 提示顶叶可能参与信息传递和规则的学习^[11]。本实验结果显示, 中央后回的中后部在运动准备阶段有较强的激活, 向前外侧移行则与运动准备相关的激活下降, 而与运动执行相关的激活增加。和运动前区一样, 顶叶后部在运动准备阶段大范围激活, 其程度较运动执行阶段强。

辅助运动区被认为是控制序列运动的主要脑功能区^[12]。动物实验证明辅助运动区前部和本部在运动

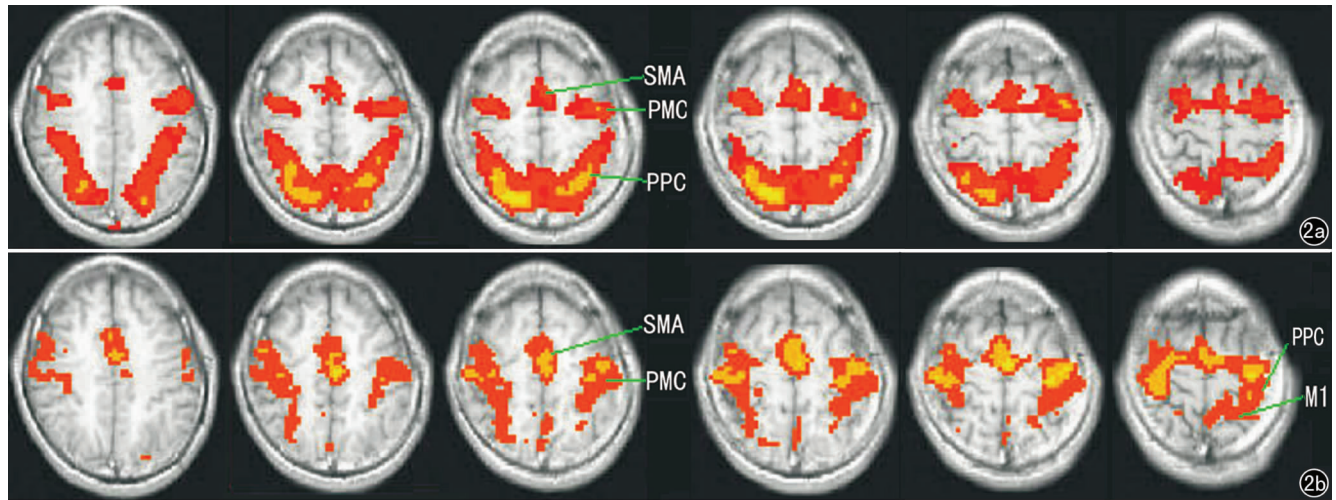


图 2 a) 运动准备阶段(CUE)脑激活图。见两侧辅助运动区(SMA)后部、运动前区(PMC)前部、后顶叶(PPC)后部激活; b) 运动执行阶段(GO)激活图。示两侧辅助运动区(SMA)后部、运动前区(PMC)后部、后顶叶(PPC)前部、对侧初级运动区(M1)激活;其中双侧 SMA 前部、PMC 后部及 PPC 前部在运动准备与执行阶段均有激活。

中的作用是不同的,辅助运动区前部的激活与任务的复杂程度有关,简单重复运动并不引起其局部血流量(regional cerebral blood flow, rCBF)的增加,而复杂序列运动能引发辅助运动前区 rCBF 的增加,而后部却无这种相关性。本研究发现辅助运动区前部在准备阶段激活明显,而后部在执行阶段激活,前后部交界区存在运动准备和执行功能的重叠,与文献报道一致。

本研究表明运动皮层存在着运动准备和执行阶段均有激活的脑功能区,运动皮层各功能区并非如以前研究所推测具有明确的功能分区,事件相关功能磁共振成像技术可以很好地用于研究脑的活动机制。

参考文献:

- [1] Kandel ER, Squire LR. Neuroscience: Breaking down Scientific Barriers to the Study of Brain and Mind[J]. Science, 2000, 10, 290(5494):1113-1120.
- [2] 薛贵,董奇,张红川. 事件相关功能磁共振成像研究及其在认知神经科学研究中的应用[J]. 中国神经科学杂志, 2003, 19(1): 45-49.
- [3] Alexander GE, Crutcher MD. Preparation for Movement: Neural Representations of Intended Direction in Three Motor Areas of the Monkey[J]. J Neurophysiol, 1990, 64(1):133-150.
- [4] Buckner RL, Bandettini PA, OCraven KM, et al. Detection of Cortical Activation During Averaged Single Trials of a Cognitive Task

Using Functional Magnetic Resonance Imaging[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1996, 93(25):14878-14883.

- [5] 朱文珍,漆剑频,王承缘,等. 实时功能磁共振成像对运动皮层的定位[J]. 放射学实践, 2002, 17(1): 59-61.
- [6] Zang Y, Jia F, Weng X, et al. Functional Organization of the Primary Motor Cortex Characterized by Event-related fMRI during Movement Preparation and Execution[J]. Neurosci Lett, 2003, 337(2):69-72.
- [7] Lee KM, Chang KH, Roh JK. Subregions within the Supplementary Motor Area Activated at Different Stages of Movement Preparation and Execution[J]. Neuroimage, 1999, 9(1):117-123.
- [8] Sergent J, Zuck E, Terriah S, et al. Distributed Neural Network Underlying Musical Sight-reading and Keyboard Performance [J]. Science, 1992, 257(5066):106-109.
- [9] Catalan MJ, Honda M, Weeks RA, et al. The Functional Neuroanatomy of Simple and Complex Sequential Finger Movements: a PET Study[J]. Brain, 1998, 121 (Pt 2):253-264.
- [10] Grafton ST, Mazziotta JC, Presty S, et al. Functional Anatomy of Human Procedural Learning Determined with Regional Cerebral Blood Flow and PET[J]. J Neurosci, 1992, 12(7):2542-2548.
- [11] Deiber MP, Passingham RE, Colebatch JG, et al. Cortical Areas and the Selection of Movement: a Study with Positron Emission Tomography[J]. Exp Brain Res, 1991, 84(2):393-402.
- [12] Orgogozo JM, Larsen B. Activation of the Supplementary Motor Area During Voluntary Movement in Man Suggests it Works as a Supramotor Area[J]. Science, 1979, 206(4420):847-850.

(收稿日期:2004-03-29 修回日期:2004-06-28)