

# 初级运动区的 fMRI 实验研究

翟洪昌<sup>\*1,2</sup> 翁旭初<sup>2</sup> 贾富仓<sup>1</sup> 崔淑范<sup>3</sup> 祝一虹<sup>4</sup> 董仲旺<sup>1,2</sup> 郭雪萍<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>广州大学心理系, 广州, 510405) (<sup>2</sup>中国科学院心理研究所, 北京, 100101)

(<sup>3</sup>河北医科大学第二医院, 石家庄, 050000) (<sup>4</sup>浙江大学医学院, 杭州, 310001)

**摘要** 本实验采用功能磁共振为实验仪器, 被试进行运动准备和运动执行两种作业活动, 实验设计为延序列运动任务。在对实验数据进行预处理, 反卷积, 标准化处理后, 采用欧式距离公式进行聚类统计, 统计结果显示, M1 区不仅具有运动执行和运动准备的功能, 还发现其他功能区域的激活, 不是单纯的运动执行功能, 这一区域与三种活动有关。

**关键词:** 运动准备 运动执行 功能磁共振 聚类分析 初级运动区

## 1 前言

一般, 人们把随意运动分为运动准备和执行两种主要的功能活动。与这两种活动相对应, 把大脑皮层主要运动区域分为初级运动区和次级运动区。初级运动区(primary motor cortex, M1) 主要功能是运动执行的简单活动。前运动皮层(premotor cortex, PMC)、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、后顶叶皮层(posterior parietal cortex, PPC) 等称为次级运动区(secondary motor areas), 主要功能是复杂的运动准备活动。初级运动区(primary motor cortex M1) 位于中央前回, 相当于 Brodmann (BA) 4 区。M1 发出的运动神经纤维直接投射到脊髓前角, 支配躯体运动。M1 区已有很多研究:

M1 区单一运动执行功能活动的研究:

在 M1 区重心或最大活动中心各种功能活动是有规律出现的<sup>[1-5]</sup>。活动的联系是交叉的, 如拇指、食指、无名指和手腕在活动时交叉投递占 40 - 70 %, 单个手指做抬起动作有活动区域的激活<sup>[6]</sup>。

Roland 等人首先利用 Xe 作为示踪剂研究了简单和复杂手指运动时脑局部 rCBF 的变化, 结果显示简单手指运动导致对侧感觉运动区(包括初级运动区和躯体感觉区)的 rCBF 增加, 而复杂手指序列运动不仅激活了对侧感觉运动区, 而且进一步激活了双侧 SMA 和 PMC。

M1 区运动准备与执行两种功能活动的研究:

Kawashima et al. 认为, 在人类, M1 区包含两个明确的区域与学习有关: 与运动准备有联系的区域和与运动执行相联系的区域<sup>[7]</sup>。

Kawashima 等(1993) 利用 PET 发现初级运动

区(M1)和运动前区在准备动作和运动学习过程中都起着关键作用。

本实验室(Cui ;Weng et al. 2000) 利用 fMRI 进行的实验发现, 被试在执行手指运动作业的运动准备期间, M1 区产生微弱的血氧增加<sup>[8]</sup>。

本实验室此后进行的研究, 采用事件相关设计, 被试执行延迟的连续手指作业, 研究准备和执行活动在 M1 区的功能联结, 发现对侧 M1 区联接活动增强, 准备和执行成份呈现出从前向后逐渐增加的梯度变化(Zang & Weng et al. 2003)<sup>[9]</sup>。

由此可见, M1 可能不仅是运动执行脑区, 也可能是参与复杂活动的功能组织。

M1 区的多种功能活动的研究:

M1 要整合从 SMA、PMC 等各区输入的信息才能最终产生运动指令, 这种整合作用表现出多种功能性(Mazziotta & Phelps 1984; Asanuma 1989; Grafton et al. 1992)。有两个实验组(Biswal et al. 1995; Xiong et al. 1999) 用低频波分析技术研究过大脑皮层运动系统自发静止状态下的功能活动。Biswal 等(1995) 人发现在静止状态下, 选用较低的相关系数(0.35) 时, 对侧 M1, 双侧感觉运动皮层、SMA 本部以及部分 PMC 有激活, 其他区域则未观察到, 说明这些区域功能上是有联系的。而 Xiong 等人(1999) 发现的区域则要广泛得多, 他们发现自发状态下 M1 的低频活动不但与对侧 M1 高度相关, 而且也与躯体感觉区、SMA、PMC、扣带回前部和后顶叶感觉联合皮层等众多脑区的活动同步。人类和灵长类有许多运动区域, 然而仍然不清楚有多少运动区域, 两个未解决的困难是确定运动区域的准确标准和如何使用这些标准去研究相关的运动区

\* 通讯作者: 翟洪昌, 男。E-mail: zhaihongchang@126.com

域<sup>[10]</sup>。大部分研究者和本实验室以前的实验主要采用相关和回归的统计方法,这种方法人为的因素比较多,人为地以某一部位为参照点进行统计分析。分类宜采用聚类方法,这种方法不受人为主观因素的影响,完全按照体素的客观特征进行分类。已有研究认为 M1 区主要是运动执行功能,本研究假设, M1 区不是单一功能,而是多功能的脑组织,实验数据采用聚类方法进行统计处理。

## 2 材料和方法

### 2.1 被试

15 名健康志愿者参加了实验,其中男 10 名,女

5 名,年龄 18~39 岁,均为右利手,无精神神经病史,无色盲或色弱等。

### 2.2 实验任务与实验设计

EPI 扫描开始时,屏幕上首先呈现一只灰色的手,在每个序列开头,食指、中指、无名指、小拇指上随机出现红点,每个序列红点出现的顺序随机,请被试记住该顺序,但不能动手指。14 秒后,手指上出现绿点,被试以最快的速度按刚才记住的顺序依次作手指叩击运动。间隔 14 秒后,出现下一个序列(见图 1)。每个序列持续 28 秒,分为准备和执行两个阶段,共 9 个序列。

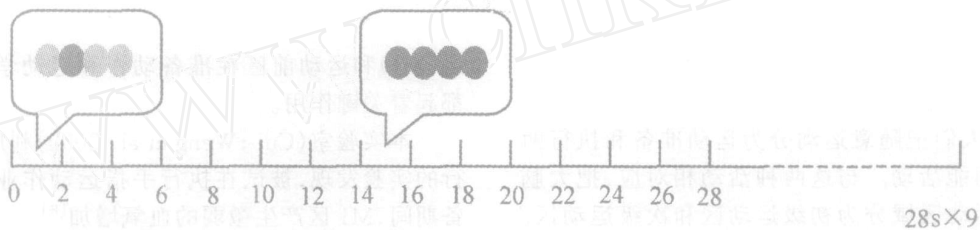


图 1 实验设计

### 2.3 MRI 设备和扫描方式

采用美国 GE 公司生产的 Signa 1.5T 全身超导型核磁共振成像系统,装备标准头线圈,EPI 软硬件设备,软件版本 Release 8.3。定位向扫描采用自旋回波(Spin Echo, SE)序列,水平位, T1 加权像,参数为 TR/TE = 380/9ms,层厚 = 5mm,间隔 = 0mm, FOV = 240 × 180mm<sup>2</sup>,矩阵 = 256 × 192,层数 = 7,帧数 = 1 帧/层。功能像扫描采用梯度回波快速回波平面(Gradient - echo, Echo planner imaging, GRE - EPI)序列,水平位, T2 加权像,具体参数为 TR/TE = 1500/50ms, Flip Angle = 90°,层厚 = 5mm,间隔 = 0mm, FOV = 240 × 240mm<sup>2</sup>,矩阵 = 64 × 64,层数 = 7,帧数 = 126 帧/层,扫描时间 = 4 分 20 秒。三维结构像扫描采用 SPGR 序列,矢状位, T1 加权, TR/TE = 30/6ms, Flip Angle = 35°,层厚 = 1.3mm,层数 = 124, FOV = 240 × 240mm<sup>2</sup>,矩阵 = 256 × 256。扫描时,先扫 SE 序列,以便功能像对齐。再扫 EPI 序列,前 4 幅图像机器自动略去,扫描范围包括整个皮层。最后扫 SPGR 序列,用以定位及空间标准化。

## 3 数据统计准备

使用 AFNI 软件重建图像。矫正功能像的头动,然后与相应的结构像对齐,参照 Talairach 和 Tournoux 定义的标准坐标进行空间标准化,最后将图像以 3mm 的厚度重切,并进行各向同性 Gaussian

平滑(半高全宽, FWHM = 5mm)。利用反卷积和多重回归分析计算出脑激活图,设定统计阈值(F 值大于 16 被定义为激活),最后作聚类分析。

## 4 聚类结果

### 4.1 大脑运动区的聚类结果

按照聚类的思想,取几类合适,应该根据实际情况而定,分类越多每一类中的成分越单纯。本实验当聚三类以上时,可以看到 M1 区有多种成分的激活。绿色激活区域包括 M1 大部分区域和 SMA 后部, PPC 前部的少量激活,这些区域是一类,主要功能是运动执行。红色激活区域包括 SMA 前部、对侧 PMC、对侧 PPC,这些区域是一类,主要功能是运动准备。黄色区域是一类,主要分布在 M1 区四周。(见图 2)

### 4.2 M1 区的三类脑组织激活反应曲线

使用聚类统计方法,本实验发现 M1 区三种激活区域反应曲线有很大差异,左峰差异大,功能复杂,右峰强度大,比较单调,双峰有比较大的差异。特别是黄色区域的激活,与运动准备和运动执行区参的反应曲线有很大差异。(见图 3)

(A) (B) (C) 分别表示绿色、红色、黄色激活区域反应曲线。三种颜色表示的区域反应曲线有很大差异,左峰明显不同。

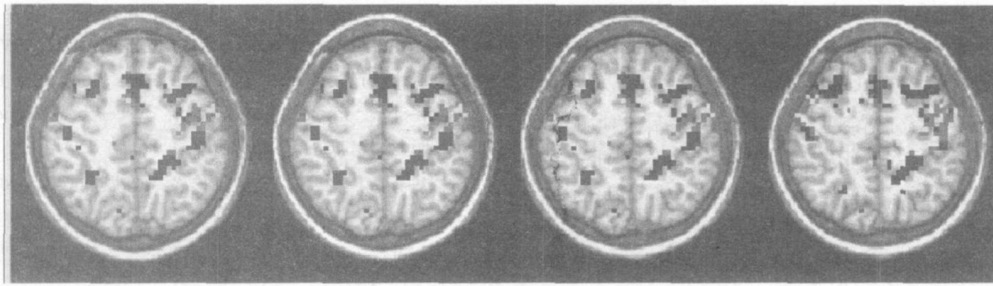


图2 激活脑区的聚类结果

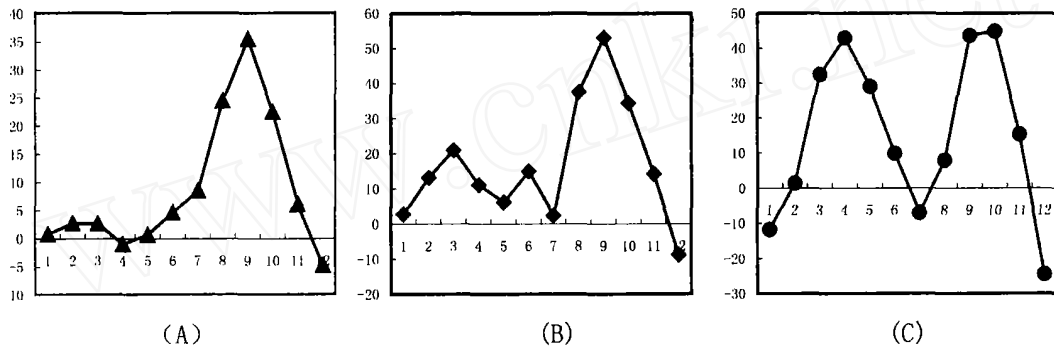


图3 MI 三类功能活动的反应曲线

## 5 讨论

本实验室以前使用fMRI进行的实验,有事件相关和block实验设计,有简单作业和复杂作业,有运动准备作业和运动执行作业,也有利手和非利手的作业,进行过多项实验研究,探讨脑的结构功能。统计方法主要使用相关和回归,相关和回归的统计方法是以某一个变量为参考变量,统计其他变量与该变量的关系。本实验采用聚类方法,聚类的基本思想是把数据最相近的变量聚在一起,脑激活图则把最一致的体素聚为一类,一层层地进行类的合并,最终形成所要求的类别划分。该实验在聚类中曾经试用过几种聚类依据,以曲线下的面积进行聚类,以波形进行聚类,既依半高和半宽之比值进行聚类,依时间点上的纵坐标值进行聚类等,聚类的结果都不如用相关做激活图好,本实验是依据曲线的两个峰值之比进行聚类,得到了比较理想的结果,分类清楚可见。在聚类过程中需要确定聚类的类数,分为几类主要看聚类的实际结果,当聚三类以上时,可以看到M1区有明显的三类激活区,因此,本实验经过比较确定聚三类是合适的。

在统计中发现激活图有奇异值,它们是大于或小于3个标准差的数据,奇异值可能是头的偶然活动造成的,为了排除奇异值可能产生的影响,在对预处理的数据进行反卷积之后,进行取对数处理,然后

再进行聚类统计,发现奇异值消失,因此,实验结果排除了奇异值可能造成的影响。

在实验内容和设计方面,运动准备阶段有明确的作业规则和指导语,控制被试在此阶段不许实际操作。执行阶段作业清晰,被试动作熟练,避免在执行任务阶段还回忆准备阶段的要求。两阶段任务有明确的活动划分,界限分明,避免交叉影响,保证了结果的单一性和可信性。

以前本实验室实验发现,运动准备和执行在M1区呈现从前向后的梯度变化<sup>[9]</sup>。本实验聚类后的激活图发现,主要呈现出空间分布特性。绿色代表运动执行功能,所占比例最大,红色代表运动执行功能,分布在M1区内侧,黄色区域分布在四周,有明显的空间分布特性,而不是梯度分布。

一般认为初级运动区主要参与运动执行,辅助运动区主要参与运动准备,而其他研究者和本实验室近期研究发现初级运动区也参与运动准备,辅助运动区也参与运动执行。本实验结果见图2,红色区域的大量激活包括SMA前部、对侧PMC、对侧PPC,也包括M1内侧明显的部位,这些区域是一类,主要功能是运动准备。说明运动准备主要分布在辅助运动区,而M1区也参与运动准备活动。绿色代表运动执行功能,主要分布在M1区,而SMA下部、PPC上部也有少量激活,表明运动执行功能活动主要在M1区,其他辅助运动区也参与运动执行。大

脑运动区域激化图说明初级运动区和辅助运动区都有主要的功能活动,但都不是单一的功能活动区域,具有相对独立性和协调统一性。

本实验发现 M1 区除了代表运动准备和执行的红色和绿色区域外,还可以看到明显的黄色区域,黄色和兰色表示何种功能尚不清楚,可能与观察判断等心理活动有关。本研究的主要结论是:M1 区以运动执行为主,也参与运动准备活动,本实验新的发现是,M1 区具有运动准备和执行以外的多项复杂功能活动,是有多种功能活动的复杂的脑组织结构,不是单一的功能单元。这些功能区与哪些具体活动相关有待进一步深入研究。

## 6 参考文献

- 1 Kawashima R, Itoh H, Ono S, Satoh K, Furumoto S, Gotoh R, Koyama M, Yoshioka S, Takahashi T, Takahashi K et al. Changes in regional cerebral blood flow during self-paced arm and finger movements. A PET study. *Brain Res* 1996,716:141 - 148
- 2 Matelli M, Rizzolatti G, Bettinardi V, Gilardi MC, Perani D, Rizzo G, Fazio F. Activation of precentral and mesial motor areas during the execution of elementary proximal and distal arm movements: a PET study. *Neuroreport*, 1993, 4:1295 - 1298
- 3 Geyer S, Ledberg A, Schleicher A, Kinomura S, Schormann T, Burgel U, Klingberg T, Larsson J, Zilles K, Roland PE, Two different areas within the primary motor cortex of man. *Nature*, 1996, 382:805 - 807
- 4 Grafton ST, Woods Rp, Mazziotta JC, Within - arm somatotopy in human motor areas determined by positron emission tomography imaging of cerebral blood flow. *Exp Brain Res*, 1993, 95:172 - 176
- 5 Fried I, Gozal D, Ki. rlew KAT, Hathout GM., Tang H, Zhang J, Harper. RM: Dynamac magnetic resonance imaging of human Rolandic cortex. *Neuroreport*, 1994, 5:1593 - 1596
- 6 Sanes JN, Donoghue JP, Thangaraj T, Edelman RR, Warach S. Shared neural substrates controlling hand movements in human motor cortex. *Science*, 1995, 268:1 775 - 1 777
- 7 Kawashima R, O 'Sullivan BT, Roland PE. Fields in human motor areas involved in preparation for reaching, actual reaching and visuomotor learning: a positron emission tomography study. *J Neurosci*, 1994, 14:3462 - 3474
- 8 Cui, S. Z., Li, E. Z., Zang, Y. F., Weng, X. C., Ivry, R. and Wang, J.J. Both sides of human cerebellum involved in preparation and execution of sequential movements. *NeuroReport*, 2000,11: 3849 - 3853
- 9 Yufeng Zang, Fucang Jia, Xuchu Weng, Enzhong Li, Shengzhong Cui et al. Function organization of the primary motor cortex characterized by event - related fMRI during movement preparation and execution. *Neuroscience Letters*, 2003,337:69 - 72
- 10 Per E Roland et al: Functions and structure of the motor cortices in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, 1996, 6:773 - 781

## Primary Motor Cortex Is Not a Single Function Unit ——Clustering Results from fMRI Experiment Data

Zhai Hongchang<sup>1,2</sup>, Weng Xuchu<sup>2</sup>, Jia Fucang<sup>1</sup>, Cui Shufan<sup>3</sup>,

Zhu Yihong<sup>4</sup>, Dong zhongwang<sup>1,2</sup>, Guo Xueping<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Department of Psychology, Guangzhou University, Guangzhou, 510405)

(<sup>2</sup> Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

(<sup>3</sup> No.2 Hospital of Hebei University, Shijiazhuang, 050000)

(<sup>4</sup> College of Medical, Zhejiang University, Hangzhou, 310001)

**Abstract** Using functional magnetic resonance imaging (fMRI), and administering to the subjects of motor preparation and motor execution activation, and processing the data of experiment clustering statistics, the authors studied various functions in the area of M1. We reach the following conclusion: In addition to its motor preparation and motor execution, the area of M1 has three kinds of function activations. It isn't a single function.

**Key words:** sport preparation and carry out, the area of M1 function, fMRI, cluster analysis