

Human cortical response to visual coherent motion : a parametric fMRI study

ZHANG Jiu-quan¹, ZHOU Yang¹, YU Qiong-wu², XIE Bing¹, WANG Xin¹, WANG Jian^{1*}, WENG Xu-chu³

(1. Department of Radiology, 2. Department of Ophthalmology, Southwest Hospital

Affiliated to Third Military Medical University, Chongqing 400038, China;

3. Laboratory for Higher Brain Function, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

[Abstract] Objective To investigate the validity of random dot kinematograms in the functional localization of cerebral areas that response to visual coherent motion and to explore the blood oxygenation level dependent response properties of cerebral areas processing visual coherent motion at three different coherence levels. **Methods** fMRI method was used to map functional neuroanatomy of visual coherent motion perception in 12 normal subjects. The participants performed passive viewing task during fMRI scanning, the stimuli was presented by blocked model. Activation map was obtained after data pre-processing and statistical inference. Finally, the ROI analysis was done. **Results** The most significant activation was observed in the left and right temporo-parieto-occipital cortex, in the area corresponding to hMT+. Area hMT+ activation volume was obtained through ROI analysis of hMT+. **Conclusion** Cerebral area that processes visual coherent motion signal can be activated significantly by Random dot kinematograms and localized accurately with fMRI techniques; area hMT+ activation volume decrease when coherence level increases.

[Key words] Random dot kinematograms; Visual coherent motion perception; Magnetic resonance imaging, functional

不同相干水平视觉运动刺激皮层反应特征的 fMRI 研究

张久权¹, 周 扬¹, 余琼武², 谢 兵¹, 王 新¹, 王 健^{1*}, 翁旭初³

(1. 第三军医大学附属西南医院放射科, 2. 眼科, 重庆 400038;

3. 中国科学院心理研究所脑高级功能实验室, 北京 100101)

[摘 要] 目的 探讨随机点动态运动图作为刺激源是否能够对参与视觉运动觉处理的大脑皮层区域进行准确的功能定位, 并在此基础上进一步观测在不同运动相干水平情况下, 相关大脑皮层的血氧水平依赖反应特点。 **方法** 12 名受试者在功能磁共振扫描过程中接受三种不同相干水平的视觉运动刺激 (5%, 20%, 80%), 刺激呈现采用组块设计模式。数据经预处理和统计分析得到激活图, 并进一步进行兴趣区分析。 **结果** 随机点动态运动图作为刺激源能够有效的激活视觉运动觉处理相关视觉皮层区域; 以 hMT+ 作兴趣区分析得到三种不同相干水平运动刺激下该区域的激活体积。 **结论** 随机点动态运动图刺激能对参与视觉运动觉处理的大脑皮层区域进行准确的功能定位; hMT+ 的激活体积随着相干水平的提高而减小。

[关键词] 随机点动态运动图; 视觉相干运动知觉; 磁共振成像, 功能性

[中图分类号] R445.2; R339.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2007)03-0364-03

目前关于视觉运动觉的知识绝大部分来自于通过化学通断、外科解剖、损毁、单细胞反应记录、免疫组化等传统有创手段对猫、非人灵长类的研究而获得。20 世纪 90 年代, 作为一种新的、具有较高时间和空间分辨率的无创性手段, fMRI

[作者简介] 张久权 (1979-), 男, 湖北黄冈人, 在读硕士。研究方向: 视觉 fMRI。E-mail: zhangjq@mail.tmmu.com.cn

[通讯作者] 王健, 第三军医大学附属西南医院放射科, 400038。

E-mail: wangjian@mail.tmmu.com.cn

[收稿日期] 2006-09-26 **[修回日期]** 2007-02-04

RI 的出现和运用为人脑视觉皮层的研究开辟了新的途径。本文应用 fMRI 技术, 对参与视觉运动觉处理的大脑皮层区域进行了准确的功能定位研究, 并在此基础上进一步观测在不同运动相干水平 (coherence level) 情况下, 相关大脑皮层的血氧水平依赖 (blood oxygenation level dependent, BOLD) 反应特点。

1 材料与方法

1.1 受试者 共 12 名, 其中男 7 名, 女 5 名, 均为大学在读本科生或研究生, 年龄 21~29 岁, 平均 (23.5 ± 2.5) 岁, 均根据标准量表确定为右利手^[1]。双眼裸眼视力为 0.5 或 0.5 以

上,矫正视力为 1.0 以上,双眼屈光差值小于等于 0.50 D。所有被试均无其他严重眼部疾病及神经系统疾患,无全身疾病病史,且于实验前进行详尽告知实验过程及实验中需注意事项并签署书面知情同意书,以取得被试的良好配合。其中 3 名被试由于头动过于明显,数据因而被舍弃,未作进一步分析。

1.2 成像方法 扫描使用 SIEMENS Magnetom Sonata 1.5T 超导型全身磁共振成像系统。采用标准正交头线圈。结构像扫描:采用快速自旋回波(TSE)序列行轴位全脑无间隙扫描,扫描平面平行于距状裂,T1 加权像,TR/TE 500/7.7 ms,层厚 7.0 mm,FOV 220 mm × 192.5 mm,矩阵 256 × 224,扫描层数 15;功能像扫描:采用回波平面成像(EPI)序列行全脑轴位无间隙扫描,扫描平面平行于距状裂,T2* 加权像,TR/TE 2000/60 ms,FA 90°,层厚 7.0 mm,FOV 230 mm × 230 mm,矩阵 64 × 64,扫描层数 15;三维结构像扫描:采用快速小角度激发(FLASH)序列行全脑矢状位无间隙扫描,T1 加权像,TR/TE 1900/1.87 ms,FA 15°,扫描层数 128,FOV 230 mm × 230 mm,矩阵 256 × 256。

1.3 刺激材料及其呈现 基于 Matlab 7.1 软件平台,采用国际通用的视觉研究自由软件包 PsychToolbox 2.54 设计的随机点动态运动图(random dot kinematograms, RDks)作为刺激源。采用组块设计(blocked design),控制状态与任务状态交替呈现,任务状态采用三水平的参数设计(parametric design),具体为:在屏幕上呈现 200 个随机点,运动相干水平分别为 5%,20%,80%。按 5%,20%,80%,20%,80%,5%,80%,5%,20%,5%,20%,80%顺序呈现,共 12 个组块,每个持续 10 s,刺激之间为 10 s 的控制状态,刺激呈现后为 10s 的静息状态,总时间 10 s × 12 × 2 + 10 s = 250 s。采用 Samrtec SA-8800f MRI 刺激系统套件(深圳市美德医疗电子有限公司生产)呈现刺激。通过位于磁共振操作间的任务控制电脑控制,刺激图形通过投影机投影到磨砂玻璃上,被试者通过头部前方的反光镜中观察图像。受试者平卧于磁共振检查床内,由头盔将头固定在正交头线圈上,通过注视额前方固定的反光平面镜被动观察毛玻璃屏上的刺激图像。实验获取数据时,除了来自显示屏的光线外,被试所处环境中无其他光源。

1.4 数据处理 所有数据均采用 AFNI^[2]和 SPSS 13.0 软件进行离线(off-line)处理和统计分析。处理步骤为:首先将数据由 DICOM 格式转换为 AFNI 所能识别的 NIfTI(Neuroimaging Informatics Technology Initiative)格式,依次进行时间转换、层内及层间图像配准、各向同性空间高斯平滑(半宽全高 FWHM = 5 mm)、将绝对 MR 信号改变转换为相对的 MR

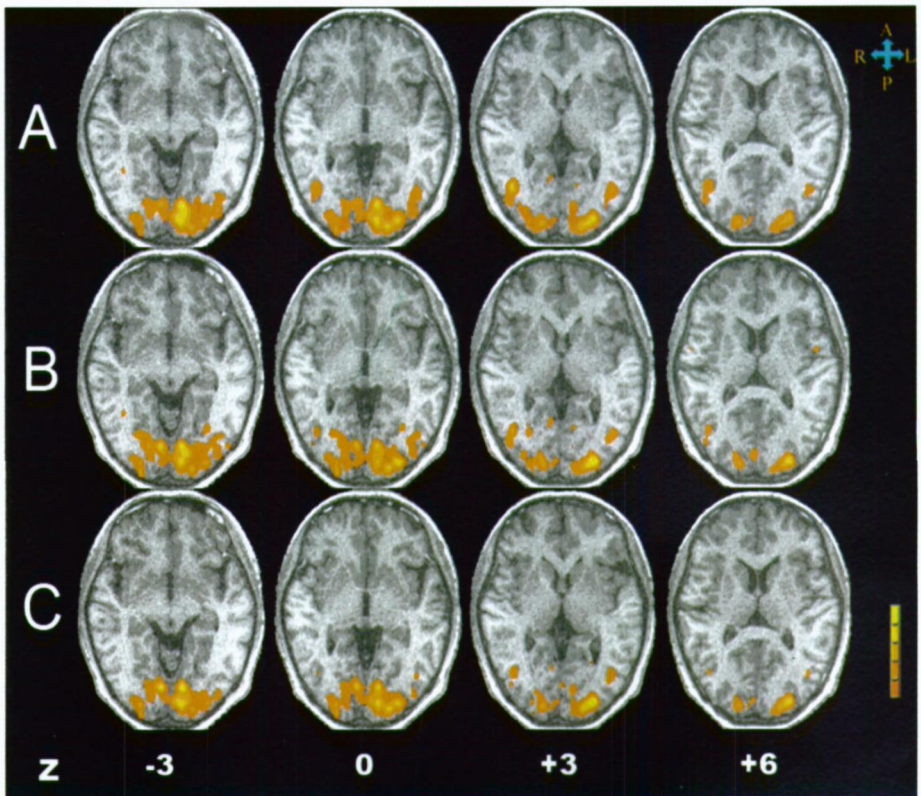


图 1 A、B、C 为相干水平分别为 5%、20%、80% 在 Talairach-Tournoux 空间坐标系 Z 轴方向坐标依次为 -3、0、+3、+6 时的激活图,显示兴趣区 hMT+ (人类颞中回复合体) 激活体积随着运动相干水平的提高而减小

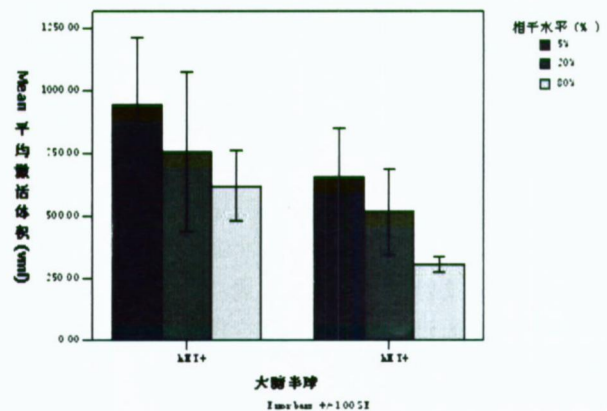


图 2 三种相干水平情况下 hMT+ 区平均激活体积

信号改变百分比以便被试内及被试间比较分析、空间标准化(采用 Talairach-Tournoux 空间坐标系),在空间标准化过程中同时对功能像进行 3 mm × 3 mm × 3 mm 重采样处理。然后对每个受试者的功能序列数据进行反卷积分析,获得运动刺激的脑功能激活图 ($F = 5.001, P < 4.1 \times 10^{-4}$)。最后将 9 名被试反卷积分析得到的各相干水平的 MR 平均信号改变百分比进行方差分析(ANOVA),得到平均激活图。

2 结果

平均脑激活图显示,运动刺激主要激活双侧颞下沟升支和枕外沟交汇处,其左、右侧激活区的 Talairach 中心坐标分别为(42.9,66.0,3.5)、(-42.5,63.5,3.8),这一位置与文献报道的人类颞中回复合体(human middle temporal complex,

hMT+)的位置一致^[3](图1)。逐一分析每个个体的脑激活图发现,在这一脑区所有受试者都见显著活,左、右半球hMT+区在相干水平为5%、20%、80%情况下激活体积分别为(946.9 ± 267.9) ml、(756.0 ± 319.5) ml、(621.0 ± 139.9) ml、(658.1 ± 192.1) ml、(516.0 ± 172.4) ml、(307.1 ± 29.7) ml(图2)。同时激活的还有V1区(激活概率28/2 × 3 × 9),hV3A(激活概率46/2 × 3 × 9)以及其他几个枕颞、枕顶、顶叶及颞叶相关区域。

3 讨论

3.1 fMRI的基本原理 fMRI是近年来兴起的具有高空间分辨率及无创伤性的脑功能研究方法;其以血氧水平依赖效应(blood oxygenation level dependent, BOLD)为核心,检测和定位脑功能。其基本原理为:神经元活动对局部氧耗量和脑血流影响程度不匹配;血液中氧合血红蛋白/脱氧血红蛋白比例不同导致局部磁场性质改变,导致MR信号差别;通过计算机应用相关分析软件统计绘制大脑皮层功能激活图,从而无创、直观反映相关皮层的功能变化。

3.2 随机点动态运动图作为视觉相干运动检测刺激源的有效性 随机点动态运动图是一种标准的心理物理学刺激,用来研究低水平运动检测特点。既往的电生理学、TMS、MEG及本研究均表明,将随机点动态运动图作为视觉相干运动检测刺激源是有效的,能够敏感的探测人类视觉皮层运动觉处理相关脑区^[4]。本研究将其用于fMRI研究也是受此启发,结果表明随机点动态运动图作为刺激源能够有效的激活视觉运动觉处理相关视觉皮层区域,并且能在不同相干水平情况下对视觉运动觉处理视区反应特点进行进一步探索。

3.3 视觉运动觉处理皮层的功能定位 既往的形态学及电生理学研究表明,非人灵长类动物及人类视觉系统似乎可以分为两条相对独立的功能特异性处理通路^[5]。二者皆以纹状皮层作为起始输入端。腹侧束(ventral stream),或称枕颞通路,从枕叶的初级视皮层(V1)区、次级视皮层(V2)区经高级视皮层(V4)区投射至颞下区。腹侧通路的神经元主要对颜色和形状等特征进行反应,处理物体识别等信息;背侧束(dorsal stream),或称枕顶通路,从V1、V2、V3区经颞中区(MT)投射至顶叶。背侧通路的神经元主要对刺激的运动速度与方向等特征进行反应,处理物体空间位置和运动检测等信息。单细胞记录研究显示,大部分hMT+区的细胞具有显著的方向选择性的特性。本研究显示运动刺激主要激活双侧颞下沟升支和枕外沟交汇处,这一位置与文献报道的hMT+的位置完全一致^[3],说明该区域主要参与视觉运动觉知的皮层处理^[6]。

3.4 刺激相干水平与视觉运动觉处理皮层反应特点的关系 我们的结果显示,hMT+的激活体积随着相干水平的提高而减小,这一点与部分文献不一致^[7]。至少我们从非人灵长类动物研究的相关文献得知,其V5区随着单向运动相干水平的增加而激活愈加明显。Ress等^[7]采用fMRI研究更定量地认为,人类V5区的反应与运动信号相干水平呈高度线性依赖。对此,两种可能的解释为:与任务难度相关,即相干

运动信号愈弱,其背景噪声——随机地非相干运动信号愈强,此时被试要作出运动方向判断也就愈难,参加处理的神经元也就会愈多,从而表现为更加明显地激活;与运动刺激的物理特点相关,即在同一相干水平下,我们可以将其作随即运动的背景视为非相干运动刺激信号,亦即相干水平越低,非相干运动刺激信号越强。而V5区神经元是方向选择性的,在此情形之下,向各个方向作随机运动的非相干运动刺激可能较向单个方向作相干运动的刺激更为有效的激活V5区的方向选择性神经元^[8,9]。

本研究采用BOLD-fMRI技术随机点动态运动图探讨了作为刺激源的有效性及其视觉相干运动觉处理的神经机制,并且通过兴趣区分析,定量分析了刺激相干水平与兴趣区激活体积的关系。结果显示,随机点动态运动图能对参与视觉运动觉处理的大脑皮层区域进行准确的功能定位;对hMT+作定量分析发现该区域激活体积与运动相干水平的提高而减小。这对于我们在对人脑参与视觉运动觉处理的视区后,进一步理解人脑对于不同相干水平的视觉运动觉知的神经机制具有重要的意义,并且,可以考虑将来将其应用于诸如弱视等发育性皮层损害的早期检测。

[参考文献]

- [1] Li XT. The distribution of left and right handedness in Chinese people[J]. Acta Psychologica Sinica, 1983, 15(3): 268-275.
李心天. 中国人的左右利手分布[J]. 心理学报, 1983, 15(3): 268-275.
- [2] Cox RW. AFNI software for analysis and visualization of functional magnetic resonance neuroimages[J]. Comput Biomed Res, 1996, 29(3): 162-173.
- [3] Zeki S, Watson JD, Lueck CJ, et al. A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex[J]. J Neurosci, 1991, 11(3): 641-649.
- [4] Nakamura H, Kashii S, Nagamine T, et al. Human V5 demonstrated by magnetoencephalography using random dot kinematograms of different coherence levels[J]. Neurosci Res, 2003, 46(4): 423-433.
- [5] Ungerleider LG, Haxby JV. 'What' and 'where' in the human brain[J]. Curr Opin Neurobiol, 1994, 4(1): 157-165.
- [6] Wilms M, Eickhoff SB, Specht K, et al. Human V5/MT+: comparison of functional and cytoarchitectonic data[J]. Anat Embryol, 2005, 210(5-6): 485-495.
- [7] Rees G, Friston K, Koch C. A direct quantitative relationship between the functional properties of human and macaque V5[J]. Nature Neurosci, 2000, 3(7): 716-723.
- [8] McKeefry DJ, Watson JDG, Frackowiak RSJ, et al. The activity in human areas V1/V2, V3, and V5 during the perception of coherent and incoherent motion[J]. Neuroimage, 1997, 5(1): 1-12.
- [9] Lam K, Kaneoke Y, Kakigi R. Human cortical response to incoherent motion on a background of coherent motion[J]. Neurosci Letters, 2003, 347(1): 41-44.