

• 实验研究 •

人类颜色和运动知觉的事件相关功能磁共振成像

王岩¹ 马林² 贾富仓¹ 赵晶辉¹ 李德军³ Sheng He⁴ 翁旭初¹

【摘要】 目的: 利用新近发展起来的事件相关功能磁共振成像技术探测人类颜色和运动知觉区的特点。材料和方法: 用 1.5T 磁共振成像系统对 7 名受试者行扫描。颜色刺激和运动刺激随机呈现。数据经预处理和统计分析获得脑激活图和局部血氧反应曲线。结果: 颜色刺激主要激活第四视觉区(V4), 但颞中回复合体⁺(MT⁺)也有轻度激活; 运动刺激主要激活 MT⁺, 但 V4 也有一定激活。结论: 尽管 V4 主要参与颜色知觉, 但在一定程度上也可参与运动知觉; 类似地, 尽管 MT⁺ 的主要功能是运动知觉, 但在一定程度上也参与颜色知觉的加工。事件相关方法可能比组块设计更为灵敏。

关键词 颜色知觉; 运动知觉; 事件相关方法; 功能磁共振成像
中国图书资料分类法分类号 R445.2

Functional Neuroanatomy of Color and Motion Perception in the Humans: An Event related Functional Magnetic Resonance Imaging

Wang Yan, Ma Lin, Jia Fucang, Zhao Jinghui, Li Djun, He Sheng, Weng Xuchu (Laboratory for Higher Brain Function, Institute of Psychology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

【Abstract】 Purpose: To characterize the neural correlates of color and motion perception in humans with the newly developed event related functional magnetic resonance imaging (fMRI). **Materials and Methods:** Seven subjects were scanned with a 1.5 T MRI system. Color and motion stimuli were randomly presented. Data were pre processed and statistically analyzed, and brain activation maps for each type of stimuli were generated and local hemodynamic response in each activation area was plotted. **Results:** Color and motion stimuli resulted in activation in bilateral V4 and MT⁺, respectively. However, V4 also showed a weak but statistically significant response to motion stimulus and MT⁺ to color stimulus. **Conclusion:** V4 is an important device for color perception, but also engaged in motion perception. Similarly, MT⁺ plays a critical role in motion perception, but also related to color perception. Event related design procedure appears to be more sensitive than block design method.

Key words color perception; motion perception; functional magnetic resonance imaging; event related procedure

颜色知觉和运动知觉是两种重要的高级视觉功能。以往对其认识多来自动物实验, 常常不能很好地解释人类视知觉功能 (Maunsell & van Essen, 1983; Schein & Desimone, 1990)。近来, 随着正电子断层成像 (positron emission tomography, PET) 和功能磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 技术的广泛应用, 对人类颜色知觉和运动知觉的脑结构和功能的认识得到了进一步提高^[1, 2]。

现有的颜色和运动知觉的脑功能成像研究大多采用组块设计 (block design) 方法^[1~4]。这一方法存在一定局限: 第一, 持续和重复给予相同的刺激可引起受试者注意力改变和对刺激的适应; 第二, 尽管组块设计可用于功能定位, 但不能提供脑局部的反应特点; 第三, 早期的组块设计很少采用混合设计, 不利于探讨颜色知觉和运动知觉之间的关系。为此, 本研究采用新近发展起来的事件相关设计 (event-related design) 实验模

式^[5], 在同一个扫描序列内随机呈现颜色刺激和运动刺激。这种设计不但可以避免持续重复刺激, 而且可以较好地揭示有关脑区对刺激的反应特点以及颜色知觉和运动知觉之间的关系。

1 材料和方法

1.1 受试者 7 名在读硕士研究生, 平均年龄 25 岁, 其中 4 名女性。身体健康, 无色盲。

1.2 成像方法 采用 GE 公司生产的 Signa 1.5T 全身磁共振成像系统。首先采用自旋回波 (Spin Echo, SE) 序列采集冠状位定位像 (与前后联合朕连垂直), 从胼胝体后缘向后取 5 层 (T1 加权像, TR/TE: 500/14ms,

作者单位 1. 100101 北京 中国科学院心理研究所脑高级功能研究实验室 2. 100853 北京 解放军总医院放射诊断科 3. 生物医学中心 4. MN 55455, USA Department of Psychology, University of Minnesota, Minneapolis

FOV: 24cm × 24cm, 矩阵: 256 × 192, 层厚: 6mm, 层间距 1mm)。然后在同一位置采用梯度回波-回波平面成像(GRE-EPI)序列进行功能像的扫描(T2 加权像, TR/TE: 2000/40ms, Flip Angle: 90°, FOV: 24cm × 24cm, 矩阵: 64 × 64, 帧数: 164 帧/层, 时间: 5 分 28 秒。最后采用 FSPGR 序列采集三维全脑结构像(T1 加权像, 矢状位, TE: 2.1ms, Flip Angle: 30°, 层厚: 2.5mm, 无间隔, FOV: 24cm × 24cm, 矩阵: 256 × 256)。

1.3 刺激材料和刺激方法 刺激由计算机产生并通过 LCD 投影仪投射至屏幕。实验开始时先给受试者呈现 10 × 10 阵列的灰色小球。然后随机呈现两种类型的刺激: 彩色不动的小球为颜色刺激, 灰色运动小球为运动刺激。每次刺激持续 2s, 刺激间隔 20s(期间呈现静止灰色小球)。颜色刺激和运动刺激各 8 次。整个序列持续 320 秒。

1.4 数据处理 采用国际上通用的 AFNI(Analysis of

Functional NeuroImages) 软件, 首先进行图像配准、头动伪影校正、空间标准化和各向同性空间高斯平滑(全高半宽为 4mm)。然后对每个受试者的功能序列数据进行反卷积分析和多重线性回归分析, 分别获得颜色刺激和运动刺激的脑功能激活图($P < 3.2 \times 10^{-6}$)。最后将 7 名被试的结果进行平均和统计, 得到平均激活图($P < 3 \times 10^{-20}$)。

2 结果

平均脑激活图(图 1)显示, 颜色刺激主要激活双侧枕颞交界处腹侧面的梭状回和舌回, 这一位置与文献报道的第四视觉区(V4)的位置一致(附表)^[1,4]。逐一分析每个个体的脑激活图(图 2)发现, 在这一脑区所有受试者都见显著激活。此外, 4 名受试者在该激活区的前部可见另一激活区, 而另外 2 名受试者的左侧颞下沟升支和枕外沟交汇处也见激活。

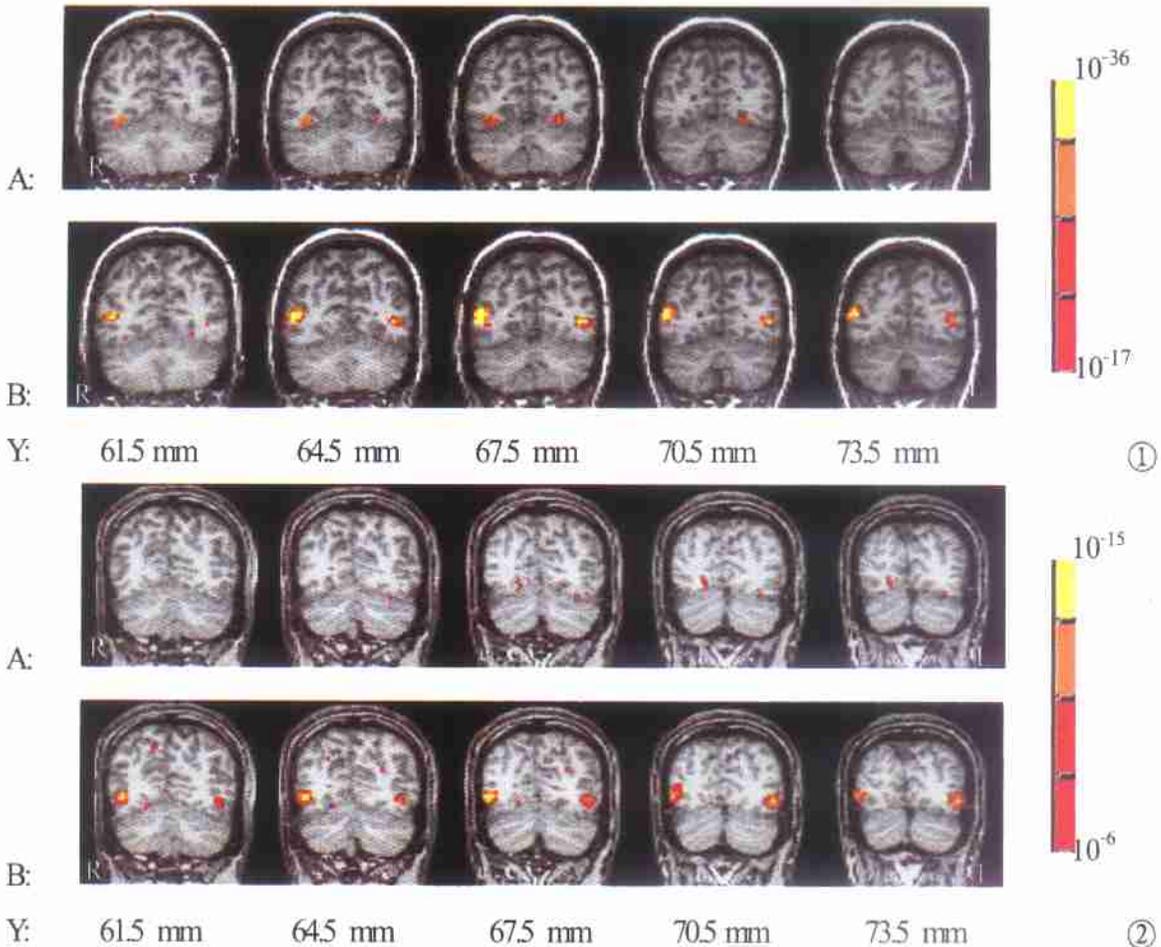


图 1 7 名受试的冠状位平均脑激活图。A: 颜色知觉激活图, 可见双侧第四视觉区(V4)激活; B: 运动知觉激活图, 可见双侧 MT⁺ 激活。Y 表示标准脑图谱中该层面与前联合的距离(mm), 其方向为从前向后。颜色柱表示统计值 P。 图 2 单个受试的冠状位脑激活图。A: 颜色知觉激活图, 可见双侧第四视觉区(V4)激活; B: 运动知觉激活图, 可见双侧 MT⁺ 激活。Y 表示标准脑图谱中该层面与前联合的距离(mm), 其方向为从前向后。颜色柱表示统计值 P。

附表 平均激活体积(mm^3)和激活部位的标准脑图谱中心坐标(mm)

		颜色刺激				运动刺激			
		x	y	z	v	x	y	z	v
V4	L	28.3	68.2	-8.1	351	...	...	...	...
	R	-31.8	60	-10	1215	...	...	...	...
MT ⁺	L	...	...	...	...	42.1	68.8	5.5	1215
	R	...	...	...	...	-43.9	68.2	10.7	2727

运动刺激条件下,平均脑激活图(图1)显示双侧颞下沟升支和枕外沟交汇处显著激活,这一位置与文献报道的颞中回复合结构⁺(MT⁺)的位置一致(附

表)^[2,3]。逐一分析每个个体的脑激活图(图2)可见,所有受试者的双侧 MT⁺ 都有显著激活。同时激活的还有双侧顶叶皮层。此外,还有 2 名受试者的左侧 V4 激活。

图3显示了颜色和运动刺激下 V4 与 MT⁺ 信号变化曲线。可以看到,V4 和 MT⁺ 分别对颜色刺激和运动刺激有很好的响应,并呈现典型的血氧反应特征(hemodynamic response)^[5]。但是值得注意的是,尽管强度较弱,V4 对运动刺激也有一定反应;类似地,MT⁺ 对颜色刺激也有一定反应。

3 讨论

本研究应用事件相关功能磁共振成像技术,探讨了颜色和运动知觉的脑结构基础。结果显示,颜色刺激主要激活双侧 V4,其激活位点与文献报告完全一致^[1,4]。与现有的大多数研究相比,本研究进一步给出了激活体积和反应曲线。这些信息对进一步定量分析具有重要意义。

形态学和电生理研究表明,从外膝体(LGN)发出的通路分为

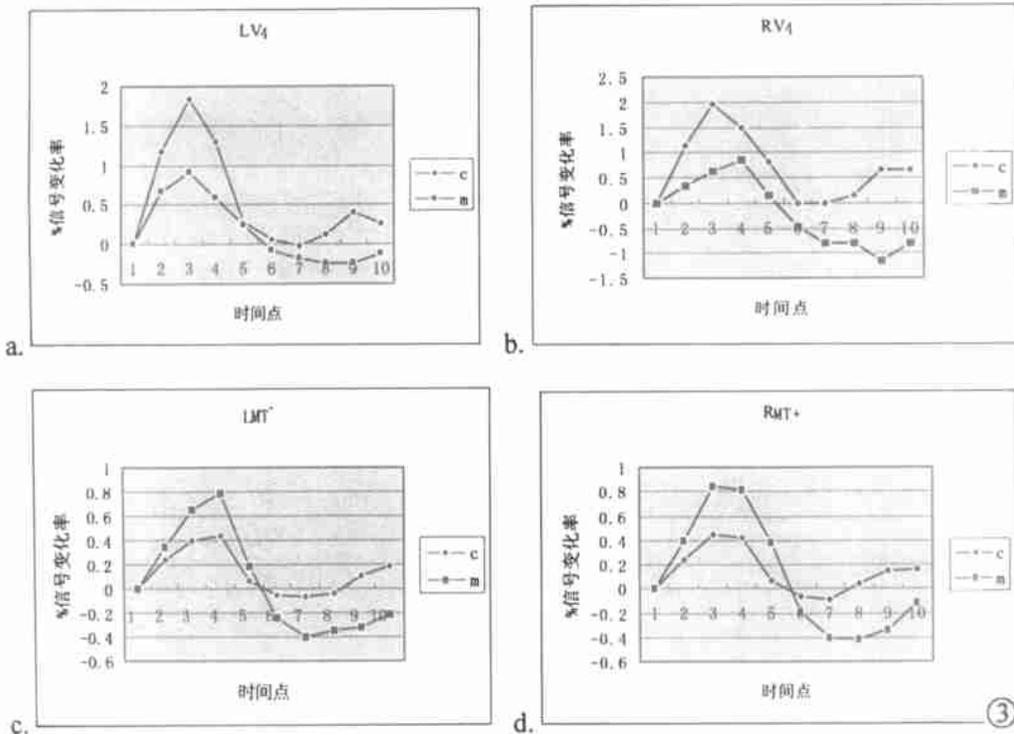


图3 各激活区的局部血氧反应曲线(变化百分率)。各图中,横坐标为单个刺激周期,每个时间点为一个TR(TR= 2s)。纵坐标为血氧反应信号变化百分率。L: 左侧, R: 右侧, V4: 第四视觉区, MT⁺: 颞中回复合区+, C: 颜色刺激, M: 运动刺激。
a. 左侧 V4 的血氧反应曲线(变化百分率)。显示颜色刺激的激活强度高于运动刺激。b. 右侧 V4 的血氧反应曲线(变化百分率)。显示颜色刺激的激活强度高于运动刺激。c. 左侧 MT⁺ 的血氧反应曲线(变化百分率)。显示运动刺激的激活强度高于颜色刺激。d. 右侧 MT⁺ 的血氧反应曲线(变化百分率)。显示运动刺激的激活强度高于颜色刺激。

相对独立的大细胞系统(magnocellular system)和小细胞系统(parvocellular system)。颜色信息由小细胞系统传递,经第一视觉区(V1)、第二视觉区(V2)到达 V4 进一步进行形状、纹理和颜色加工(Ungerleider et al, 1994)。近期脑功能成像研究^[1,6]和本实验结果表明,人脑内也存在颜色加工的专门区域,并支持 V4 是颜色加工中心的假说。

值得指出的是,我们在 V4 前部观察到另一个激

活区。根据位置判断,这一激活区可能就是最近发现的第四视觉区前区(V4a)^[6]。V4 和 V4a 都对颜色刺激有很好的响应,但 V4 有明确的视野组织性而 V4a 没有^[6]。V4 和 V4a 究竟是一个功能整体还是两个独立的功能区有待于进一步研究。

本研究观察到,运动刺激显著激活双侧 MT⁺,这与许多文献结果一致^[2,3]。MT⁺ 主要接受来自外膝体大细胞层的投射,与运动知觉和空间知觉有关^[6]。动

物和人类 MT⁺ 损伤可以引起运动知觉和空间知觉障碍^[7,8]。灵长类研究表明, MT⁺ 可以进一步区分为颞中回(MT)和颞上回(MST)两个亚区, 两者功能可能有一定差异, 如 MT 对球体的矢量运动比较敏感(Movshon et al, 1985), 而 MST 对物体的旋转和扩张、收缩运动比较敏感(Tanaka et al, 1989)。由于 MT 和 MST 紧邻以及磁共振成像(fMRI)空间分辨力的限制, 本研究未能分离这两个亚功能区。

本研究一个有趣的发现是, V4 和 MT⁺ 分别对运动刺激和颜色刺激有一定反应。但由于这些反应相对较弱, 组块设计不易检测到。这可能就是大多数脑功能成像研究没有观察到这一结果的原因。新近形态学显示, V4 可以接受来自大细胞系统的神经纤维^[9], 而电生理实验观察到, V4 神经元可对物体的运动方向反应^[10], MT⁺ 神经元对颜色有一定反应(Dobkins et al, 1994)。这些结果与本实验结果一样都不支持 V4 只加工颜色信息和 MT 只加工运动信息的传统观点。一些研究显示 V4 和 MT⁺ 之间有直接的纤维联系(Maunsell & van Essen, 1983)。因此, 今后需要进一步研究的问题是, V4 接受的运动信息究竟是直接来自 LGN, 还是经 MT⁺ 中介传入 V4。同样需要阐明, MT⁺ 接受的颜色信息是直接来自 LGN 还是经 V4 中介传入 MT⁺。以往对颜色和运动知觉的脑功能成像研究, 多以组块形式重复呈现同一类型的刺激。但重复刺激可能造成注意力涣散和对刺激的适应, 进而导致神经元反应减弱和实验敏感性降低。而本研究采用事件相关设计, 刺激随机和离散呈现, 可有效地克服上述缺陷, 相对提高了实验的敏感性。不仅如此, 事件相关方法可以将颜色刺激和运动刺激随机混合在同一个扫描序列中, 使两种刺激的可比性增强, 从而提高了统计效率。因此, 本研究能够记录到 V4 对运动刺激的反应和 MT⁺ 对颜色刺激的反应, 而大多数组块设计实验未能观察到这一结果。更重要的是, 事件相关方法提供了 V4 和 MT 的局部反应信息, 这对深入了解这两个脑区的功能特点具有重要意义。

本研究利用事件相关功能磁共振成像技术研究了参与颜色知觉和运动知觉的脑结构, 并获得了有关脑区的局部血氧反应曲线。结果表明: 颜色刺激主要激活 V4, 但也可一定程度激活 MT⁺; 而运动刺激主要激活 MT⁺, 但 V4 也有一定激活。这一现象在多数组块设计脑功能成像中未能观察到, 提示事件相关 fMRI 技术敏感度较高。

参 考 文 献

- 1 Beauchamp MS., Haxby J. V. Jennings JE., DeYoe EA. An FMRI version of the Farnsworth Munsell 100- hue test reveals multiple color selective areas in human ventral occipitotemporal cortex. *Cereb. Cortex*, 1999, 9: 257
- 2 Shulman GL., Schwarz J., Miezin FM., Petersen SE. Effect of motion contrast on human cortical responses to moving stimuli. *J. Neurophysiol*, 1998, 79: 2794
- 3 McCarthy G., Spicer M., Adrignolo A., Luby M., Gore J., Allison T. Brain activation associated with visual motion studied by functional magnetic resonance imaging in human. *Hum. brain mapping*. 1995, 2: 234
- 4 Zeki S., Watson JD., Lueck CJ., Friston KJ., Kennard C., Frackowiak RS. A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *J. Neurosci*. 1991, 11: 641
- 5 贾富仓, 翁旭初. 事件相关功能磁共振成像. *生理科学进展*, 2001, 32: 368
- 6 Zeki S. and Bartels A. The clinical and functional measurement of cortical (ir) activity in the visual brain, with special reference to the two subdivisions (v4 and v4a) of the human colour center. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 1999, 354: 1371
- 7 Rudolph K. and Pasternak T. Transient and permanent deficits in motion perception after lesions of cortical areas MT and MST in the macaque monkey. *Cereb. Cortex*. 1999, 9: 90
- 8 Zihl J., von Cramon D., Mai N. and Schmid C. Disturbance of movement vision after bilateral posterior brain damage. Further evidence and follow up observations *Brain*. 1991, 114: 2235
- 9 Ferrera VP, nealey TA, Maunsell JH. Responses in macaque visual area V4 following inactivation of the parvocellular and magnocellular LGN pathways. *J. Neurosci*. 1994, 14: 2080
- 10 Cornette L., Dupont P., Rosier A., Sinaert S., van Hecke P., Michiels J., Mortelmans L., Orban GA. Human brain regions involved in Direction Discrimination. *J. Neurophysiol*, 1998, 79: 2749

(2002-06-11 收稿 2002-07-23 修回)

(上接第 46 页)可提高图像的分辨力, 使病变显示更加清晰, 为临床提供了更多的诊断信息。因此, 胸部数字化 X 线摄影具有很大的临床应用价值和广泛前景。

参 考 文 献

- 1 燕树林, 李硕鹏, 赵波等: 高千伏胸部 X 线片影像质量综合评价方法

与标准的探讨, *中华放射学杂志*. 1998, 32(11): 741

- 2 袁聿德主编: *X 线摄影学*, 人民卫生出版社. 1993, 3: 180
- 3 Robert G Fraser, C Sanders, GT Bames, et al. *Digital Imagig of the chest Rad*iology. 1989, 171(2): 299

(2002-09-05 收稿 2002-10-20 修回)