

多方式认知功能成像研究进展*

饶恒毅** 陈霖

(中国科技大学北京认知科学开放实验室, 中国科技大学生命科学院, 北京 100039)

摘要 对大脑结构和功能的深入研究要求认知功能成像技术同时具有高时间分辨率和高空间分辨率. 多方式认知功能成像通过不同成像技术 fMRI/PET 和 EEG/MEG 的结合, 能够同时在空间定位和时间过程上研究大脑认知活动的动态过程. 多方式认知功能成像已经被成功地应用于选择性注意、视觉通路、随意运动和语义加工等的研究, 并揭示了相关大脑活动的空间和时间特征. 今后的研究将进一步提高多方式认知功能成像的时空分辨率和准确性, 以更深入地探索认知功能的神经机制.

关键词 多方式认知功能成像, 功能磁共振成像, 正电子发射断层成像, 脑电图, 脑磁图, 选择性注意, 视觉通路

学科分类号 Q42

对大脑结构与功能关系问题的研究是现代认知神经科学的主要方向. 近 20 年来, 以功能磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 为代表的脑认知功能成像技术得到了巨大的发展并被迅速应用到认知神经科学的各个领域. 同时, 认知神经科学的发展也对脑成像技术提出了越来越高的要求. 这些要求包括无创性 (non-invasive), 即可以安全地对正常人进行实验; 高空间分辨率 (high spatial resolution), 即能对相关脑组织的活动进行精确的空间定位; 高时间分辨率 (high temporal resolution), 即能准确地反映大脑活动的动态时间过程. 然而, 还没有任何单独的一种现代脑成像技术能完全满足上述要求. 因此, 通过几种不同技术的结合, 发挥各种技术优点的多方式认知功能成像 (multimodal neuroimaging), 正在逐步成为现代认知神经科学的一个前沿和焦点领域. 本文将对多方式认知功能成像研究的应用和进展作扼要评述.

1 多方式认知功能成像原理

1.1 fMRI 和 PET 的认知功能成像

fMRI 和正电子发射断层成像 (positron emission tomography, PET) 技术都是通过测量大脑活动所伴随的代谢或血流. 血氧含量的变化来对大脑进行认知功能定位的成像技术.

PET 出现于 20 世纪 80 年代初. PET 通过给被试注射含放射性同位素的水或葡萄糖, 记录同位素放出的正电子与脑内负电子湮灭而释放出 γ 射线

的位置分布, 可以测量区域脑代谢率 (regional cerebral metabolic rate, rCMR) 和区域脑血流 (regional cerebral blood flow, rCBF) 的改变, 以此来反映大脑的功能活动变化. 尽管 PET 在认知研究的各个领域都取得了许多重要的发现, 但是其固有的一些局限性, 如成像的时间较长, 至少要几十秒, 只能采用区组设计 (block design) 的实验模式; 成像时受放射性同位素的限制, 不适用于单个被试的重复研究等, 使 PET 在认知神经科学研究中的应用越来越受限制.

fMRI 出现于 20 世纪 90 年代初. fMRI 大多是基于血氧水平依赖 (blood oxygenation level dependent, BOLD) 的认知功能成像: 大脑活动时, 其血氧含量中氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白的比率发生改变, 引起大脑局部组织的磁化率变化, 测量其引起的信号改变, 以此反映相关的大脑功能活动变化. 与 PET 相比, fMRI 有显著的优点: 它的成像时间可以短于 50 ms, 空间分辨率可以达到 1 mm, 可以同时提供大脑的结构像和功能像获得准确的空间定位, 可以无创性地多次重复实验. 因此, fMRI 一直是认知研究中最重要成像手段. 然而, fMRI 与 PET 测量的信号都不是直接的神经活动信号, 其信号一般有滞后于神经活动 4~8 s 的响应延迟, 并且 fMRI 目前在实际应用中能够达

* 国家自然科学基金重大项目 (6979080) 和国家重点基础研究项目 (1998030503) 资助.

** 通讯联系人.

Tel: 010-68226065-8140, E-mail: hyrao@sina.com

收稿日期: 2001-03-02, 接受日期: 2001-05-17

到的时间分辨率最多只能在数百毫秒的数量级^[1,2], 使它在认知研究中无法满足全部的需要。

1.2 EEG 和 MEG 的认知功能成像

与 fMRI 和 PET 相比, 脑电 (electroencephalograph, EEG) 和脑磁 (magnetoencephalography, MEG) 技术直接测量神经活动的电磁信号, 记录与某一特定事件相关的脑电事件相关电位 (event-related potential, ERP) 和脑磁事件相关磁场 (event-related magnetic field, ERF), 具有毫秒级的高时间分辨率的优势, 被广泛应用于认知研究的各种领域。然而, 由于 EEG 和 MEG 记录的都是大脑内部神经活动的电磁信号在脑外的反映, 在数学上, 从脑外的信号来逆推脑内的神经活动的源定位, 有着固有的非唯一解的困难。并且, 对脑内的信号发生形态的假设, 头颅的结构模型, 导电性等等都可能影响源定位的精确性和可靠性。因此, 在认知研究中, 特别是研究涉及多个皮层的高级认知活动时, 单独应用 EEG 和 MEG 有很大的限制。

1.3 多种成像方法的结合

尽管上述各种认知功能成像技术测量的生理参量或机制有很大的差别, 有证据表明各种技术得到的结果可以互相重复, 这就为多种成像技术结合的多方式认知功能成像提供了基础和依据。

最简单的一种多方式认知功能成像是 PET 和 MRI 的结合: 把 PET 得到的平均的 (group mean) 功能成像图, 对准后重叠到 MRI 得到的结构图上, 以确定功能区在皮层结构上的确切位置。这种结合方式已经在 PET 的研究中使用了多年。Watson 等^[3]确定人类脑皮层中对运动知觉的敏感区 V5 位置的研究就是其中的一个典型例子。另一种类似的结合方式是把 EEG/MEG 得到的源定位结果通过坐标系统的变换, 投射到 MRI 结构图上, 以得到更精确的活动源的位置。这两种方式的结合都仅仅是对结果的简单叠加。

比多种技术的简单加和更具吸引力和挑战性的, 是把 fMRI/PET 的空间功能定位结果与 EEG/MEG 的时间变化曲线动态结合, 以得到高空间分辨率和高时间分辨率的大脑活动的动态过程。这种多方式认知功能成像方法, 是目前脑认知成像研究中的一个焦点^[4-12], 它可以通过两种结合方法实现。第一种结合方法是在约束的条件下以等效偶极子定位模型 (equivalent dipole modeling) 求解 EEG/MEG 的“逆问题”, 即把 fMRI/PET 的大脑活动的功能定位结果, 作为 EEG/MEG 的偶极子

源的位置限制条件, 让偶极子的大小和方向都可以改变, 同时应用 MRI 的大脑高分辨率结构图像获得偶极子定位的真实头模型, 然后计算偶极子模型的电位分布与实验记录的电位分布之间的差别, 得到剩余残差 (residual variance, RV) 曲线以观察其活动的过程。剩余残差越小的时间, 越可能是代表功能区兴奋的偶极子活动的时间。这种结合方法在多方式认知功能成像领域已经有比较广泛的应用。它的一个很有价值的发展趋势是把 EEG/MEG 偶极子定位与 fMRI/PET 的统计参数图 (statistical parametric mapping, SPM) 结合起来^[12], 通过 MRI 重构皮层表面对 EEG/MEG 的源定位的逆向求解加以限制, 在 MRI 的皮层分割模型中计算偶极子的概率分布, 以 fMRI/PET 的功能定位结果作为预先的假设对偶极子的分布加以限制, 计算功能成像的动态统计参数图 (dynamic statistical parametric mapping) 以描述大脑活动的动态时程。

第二种结合方法是将 EEG 的皮层电流密度分析方法 (cortical current density analysis, CCD) 与 fMRI 的结构像和功能像进行比较和结合^[10]。通过这种方式结合时, 记录的头皮电磁信号分布被投射到皮层的表面上, 然后通过线性或非线性的电流源密度重建来决定功能活动的动态过程: 电流密度源的质心位置通过对最大活动源的加权平均得到, 源定位的时间过程通过系列 CCD 重建对每个时间点的独立计算获得。与偶极子源定位相比, CCD 分析的优点是不需要事先假设活动源的个数和位置, 而用一种分布源模型来代替, 但是其分布源定位的结果需要与 fMRI 的定位结果互相验证, 其准确性和有效性还有待于进一步的探索。

2 多方式认知功能成像研究的应用和进展

2.1 fMRI/PET 与 EEG/MEG 的一致性研究

多方式认知功能成像的基础在于各种技术方法得到结果的重复性, 因此, 多种成像技术的结合首先是对各种技术获得脑功能定位一致性的比较研究。

对各种技术一致性的研究多数是在初级运动皮层 (primary motor cortex, M1) 或初级体感皮层 (primary somatosensory cortex, S1) 进行的, 原因是这些皮层区域都在中央沟附近, 很容易在结构图像上定位; 激活这些区域的任务或刺激只需要简单的运动任务或者电刺激, 并且它们所诱发的 ERP 或 ERF 可以很容易地用一个等效偶极子模型来进

行源定位. 对运动任务, Walter 等^[13]比较 MEG 和 PET 的平均差别大约是 17 mm, Toro 等^[14]与 Gerloff 等^[15]比较 EEG 和 fMRI 的差别, Beisteiner 等^[16]比较 MEG 和 fMRI 的差别, 都在同一水平, 而 Sanders 等^[17]通过几种不同的方法计算 fMRI 的兴奋中心, 并与 MEG 的偶极子定位比较表明, 两者的平均差别最小约为 6.8 mm. 对电刺激诱发的体感诱发电位 (somatosensory evoked potential, SEP), Grimm 等^[18]的 EEG 和 fMRI 的比较表明两者的平均差别大约是 8.5 mm. 此外, Singh 等^[19]对视觉刺激引起的 ERP 和 fMRI 的比较表明 ERP 的源定位和 fMRI 的兴奋中心之间的平均差别大约是 15 mm.

更直接的证据来源于病人的颅骨内的 ERP 记录和 fMRI 成像的比较. Puce 等^[20]以两个癫痫病人为被试, 发现产生面孔特异性 ERP (N200) 的位置和 fMRI 观察到的兴奋位置非常一致. 考虑到比较 fMRI/PET 的脑功能成像结果与 EEG/MEG 的头外电磁记录技术的定位结果时多方面的差别, 如测量的生理信号参数的差别, 两种坐标系统对准时带来的误差, EEG/MEG 的源定位模型 (偶极子模型, 头模型) 的误差等等, 这两种技术的 1~2 cm 的空间定位差别完全可以认为支持了 fMRI/PET 与 EEG/MEG 两类技术应用于观察大脑认知功能活动时的重复性和一致性.

2.2 选择性注意的研究

选择性注意是认知科学最重要的问题之一. 早期的心理物理学研究表明, 对刺激的注意可以易化目标的检测和识别. 其中, 空间选择性注意对视皮层活动的影响发生的时间可以早至刺激呈现后的 70~80 ms, 其影响的主要体现就是 ERP 的 P1 成分波幅受注意的调制, 而 ERP 的波形, 潜伏期和头皮分布均没有很大变化^[21].

为了确定注意的调制究竟发生在视觉加工的什么层次, 来源于视皮层的哪些区域, Heinze 等^[5]通过 ERP 和 PET 的结合, 第一次在空间和时间上同时研究了注意调制的神经机制, 他们发现对刺激出现一侧的空间选择性注意能够增强外纹状皮层的活动, 其空间定位在梭状回 (fusiform gyrus), 时间在 80~130 ms. 进一步地, Mangun 等^[7]设计两种不同难度的实验任务, 一种是符号辨别, 另一种是更容易的亮度检测, ERP 的结果发现在较难的任务下注意对 P1 成分的调制高于较容易的任务, 而 PET 的结果也发现在较难的任务下梭状回的信

号强度高于较容易的任务. 这两种不同方法 (PET 和 ERP) 得到结果的协同变化 (covariation) 提示它们是由同样的神经机制和信息处理过程产生的, 进一步支持空间注意的调制发生在视皮层的梭状回. 而 Woldorff 等^[8]应用 PET 和 ERP 的结合, 对下视野早期空间注意效应的视皮层投射关系组织 (retinotopic organization) 的研究发现, 注意的调制效应发生在 80~150 ms 的 P1 成分, 其定位主要在枕叶外纹状皮层的背侧区域, 次要的在腹侧的梭状回.

此外, Martinez 等^[22]通过 fMRI 与 ERP 结合, 探讨了空间选择性注意时纹状皮层和外纹状皮层的作用. 他们发现, 注意的调制开始于刺激后 70~75 ms 开始出现的 P1 成分, 其前期 (72~104 ms) 的空间定位在外纹状皮层的 V3 区和枕中回的前部, 后期 (104~136 ms) 空间定位在外纹状皮层的 V4v 区和梭状回. 而对定位在纹状体皮层 V1 区的 50~55 ms 的 C1 成分, 注意的调制不起作用. 另一方面, fMRI 发现与注意有关的皮层活动涉及视皮层投射关系的多个功能区, 包括 V1, V2, V3, VP 和 V4v. 他们解释 fMRI 发现的纹状皮层 V1 区的注意调制, 可能来源于延迟后的高级视皮层区的反馈或一种从上到下的偏好信号 (a top-down "bias" signal) 在 V1 区产生的神经活动的持续增强, 它们不调制最初的刺激诱发的 C1 成分.

2.3 视觉通路的研究

认知神经科学的一个重要结果, 就是揭示人类和灵长类动物与视觉功能相关的皮层区域可以划分成解剖和功能分离的两条通路: 与物体或形状、颜色等知觉有关的腹侧通路 (ventral stream) 和与空间位置、运动等知觉有关的背侧通路 (dorsal stream)^[23].

为了探索两条通路的相互关系, Wang 等^[11]应用 fMRI 与 128 导的高分辨率 ERP 结合, 研究了运动形成图形 (kinetic form) 大脑活动的功能定位和动态时程. 他们发现, 由运动随机点形成的图形知觉, 引起了背侧通路 MT/V5 区和腹侧通路 GTi/GF 区的兴奋, 并且 MT/V5 区和 GTi/GF 区兴奋的时间过程上是同时发生的. 进一步, 我们同样应用 fMRI 与 128 导 ERP 的结合对图形形状和空间位置知觉的研究表明, 单纯图形形状知觉引起腹侧通路 GTi/GF 区的兴奋, 形状和空间位置知觉引起腹侧通路 GTi/GF 区和背侧通路 Ga/Peu 区的兴奋, 并且, GTi/GF 区兴奋的时间要早于 Ga/

Pcu 区. 这些结果丰富了对两条通路关系的认识, 并对两条通路的简单二分法提出了质疑.

2.4 其他的研究进展

Menon 等^[6]通过 fMRI 与 EEG 的结合研究了目标检测 (target detection) 的脑功能活动. 他们使用事件相关 fMRI (event-related fMRI) 技术, 测量目标检测引起的事件相关大脑兴奋 (event-related brain activation, ERBA), 与 ERP 记录的显著 P3 成分进行结合分析, 发现 P3 成分的源定位在 ERBA 的颞顶皮层, 时间是刺激后 285 ~ 610 ms. 他们研究的一个重要特点是在 fMRI 中采用事件相关技术, 这样可以使得 fMRI 与 EEG 的实验设计和处理方式更加接近, 减少区组设计的功能成像技术与事件相关电磁记录技术的误差.

Ahlfors 等^[24]通过 fMRI 与 MEG 的结合, 研究了对运动方向变化的知觉皮层活动过程. 他们发现两种不同的皮层活动模式, 一种是短时活动, 包括 MT+ 和 V1/V2, 一种是持续时间较长的活动, 包括上颞沟的后部 (posterior superior temporal sulcus, pSTS) 和额叶区域 (frontal area), 它们的峰值和上升期各不相同, 时间顺序是 MT+, frontal, V1/V2, V3A 和 pSTS.

Ball 等^[10]通过 fMRI 与 64 导高分辨率 EEG 的结合, 研究了随意运动 (voluntary movement) 的高级运动皮层活动的动态过程. 他们对 EEG 进行皮层电流密度分析 (CCD), 然后与 fMRI 进行比较和结合, 揭示了随意运动的两种不同的大脑活动时程: 对第一种时程, 大脑活动开始于扣带回运动区 (cingulate motor area, CMA) 前部, 时间是随意运动开始前 2 500 ms, 接着是辅运动皮层 (supplementary motor area, SMA) 中下部的活动, 时间是随意运动开始前 2 200 ms, 而在随意运动开始前 120 ms, 辅运动皮层的兴奋性下降, 同时初级运动皮层的兴奋性增加; 对第二种时程, 在初级运动皮层的兴奋之前, 只有辅运动皮层后部的活动, 时间是随意运动开始前 1 800 ms. 并且在不同的皮层区域, fMRI 的兴奋中心和 CCD 质心的差别都在 1~2 cm.

Dale 等^[12]则通过 fMRI 与 MEG 的结合, 研究了视觉呈现单词的语义加工 (semantic processing) 大脑活动的动态过程. 他们把 MRI 得到的皮层结构图, 分割成以每半球 2 500 个偶极子位置取样, 然后采用边界元模型 (boundary element model) 计算每个偶极子位置的三维前向解, 以求得每个时间

点下的偶极子分布. 通过 MEG 求解大脑活动的动态时空模式是通过两种方法进行, 一是没有 fMRI 的功能定位的限制, 另一是 fMRI 定位结果以 90% 的加权值对偶极子模型加以限制, 得到动态统计参数图描述大脑活动复杂的动态过程. 结果发现, 最初的枕叶视皮层的兴奋波, 在刺激后 185ms 内就已经快速扩散至颞叶, 顶叶和前额皮层, 不同皮层区域的兴奋时间互相交错. 最初的兴奋波过后, 其中许多皮层区表现出兴奋的重复效应 (repetition effects), 提示大脑活动过程中存在复杂的反馈网络.

综上所述, 多方式认知功能成像的产生和发展, 是为了对大脑的结构和功能同时进行高空间分辨率和高时间分辨率的无创性成像, 以揭示大脑活动的动态过程. 无论从技术上还是应用上, 多方式认知功能成像的研究才刚刚起步. 作为多方式认知功能成像最重要组成之一的 fMRI 技术, 它的成像方法和数据分析尚在发展之中; fMRI 所测量的血氧变化信号与神经活动的确切关系还没有定量的描述, fMRI 与 EEG/MEG 结合的生理基础和适用条件尚缺乏深入的了解; 多种成像技术结合时能够达到的时间和空间分辨率还需进一步提高; 结合涉及的定位方法, 数学模型和分析技术, 仍在不断地发展. 今后的研究方向将从两方面出发, 一是如何提高多种成像技术结合的准确性和精确性, 二是如何把多方式认知功能成像成功地应用于更多的大脑认知活动研究. 可以确信, 这是认知神经科学中一个充满活力和挑战的新领域, 未来的认知功能研究将更加着重于揭示大脑活动的动态模式, 而随着 fMRI 等各种技术自身的发展成熟和对神经信号生理机制的深入认识, 多方式认知功能成像必将在认知研究中得到更广泛和深入的应用.

参 考 文 献

- 1 Menon R S, Ogawa S, Hu X, *et al.* BOLD-based functional MRI at 4 Tesla includes a capillary bed contribution: Echo planar imaging correlates with previous optical imaging using intrinsic signals. *Magnetic Resonance in Medicine*, 1995, **33** (3): 453~459
- 2 Kim S G, Richter W, Ugurbil K. Limitations of temporal resolution in functional MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 1997, **37** (4): 631~636
- 3 Watson J D, Myers R, Frackowiak R S, *et al.* Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cereb Cortex*, 1993, **3** (2): 79~94
- 4 Fox P T, Woldorff M G. Integrating human brain maps. *Current Opinion in Neurobiology*, 1994, **4** (2): 151~156

- 5 Heinze H J, Mangun G R, Burchert W, *et al.* Combined spatial and temporal imaging of spatial selective attention in humans. *Nature*, 1994, **372** (6506): 543~ 546
- 6 Menon V, Ford J M, Lim K O, *et al.* Combined event-related fMRI and EEG evidence for temporal-parietal cortex activation during target detection. *Neuroreport*, 1997, **8** (14): 3029~ 3037
- 7 Mangun G R, Hopfinger J B, Kussmaul C L, *et al.* Covariation in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex. *Human Brain Mapping*, 1997, **5** (4): 273~ 279
- 8 Woldorff M, Fox P T, Matzke M, *et al.* Retinotopic organization of the early visual spatial attention effects as revealed by PET and ERPs. *Human Brain Mapping*, 1997, **5** (4): 280~ 286
- 9 Mangun G R, Hopfinger J B, Heinze H J. Integrating electrophysiology and neuroimaging in the study of human cognition. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 1998, **30** (1): 118~ 130
- 10 Ball T, Schreiber A, Feige B, *et al.* The role of high-order motor areas in voluntary movement as revealed by high-resolution EEG and fMRI. *Neuroimage*, 1999, **10** (6): 682~ 694
- 11 Wang J J, Zhou T G, Qiu M L, *et al.* Relationship between ventral stream for object vision and dorsal stream for spatial vision: A fMRI + ERP study. *Human Brain Mapping*, 1999, **8** (4): 170~ 181
- 12 Dale A M, Liu A K, Fischl B R, *et al.* Dynamic statistical parametric mapping: combining fMRI and MEG for high-resolution imaging of cortical activity. *Neuron*, 2000, **26** (1): 55~ 67
- 13 Walter H, Kristeva R, Knorr U, *et al.* Individual somatotopy of primary sensorimotor cortex revealed by intermodal matching of MEG, PET and MRI. *Brain Topography*, 1992, **5** (2): 183~ 187
- 14 Toro C, Wang B, Zeffiro T, *et al.* Movement-related cortical potentials: source analysis and PET/MRI correlation. In: Thatcher RW, Hallett M, Zeffiro T, eds. *Functional Imaging*. San Diego: Academic, 1994. 259~ 267
- 15 Gerloff C, Grodd W, Altenmüller E, *et al.* Corregistration of EEG and fMRI in a simple motor task. *Human Brain Mapping*, 1996, **4** (3): 199~ 209
- 16 Beisteiner R, Comiscek G, Erdler M, *et al.* Comparing localisation of conventional functional magnetic resonance imaging and magnetoencephalography. *Eur J Neurosci*, 1995, **7** (5): 1121 ~ 1124
- 17 Sanders J A, Lewine J D, Orrison W W. Comparing of primary motor cortex localization using functional magnetic resonance imaging and magnetoencephalography. *Human Brain Mapping*, 1996, **4** (1): 47~ 57
- 18 Grimm C, Schreiber A, Feige R K, *et al.* A comparison between electric source localisation and fMRI during somatosensory stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1998, **106** (1): 22~ 29
- 19 Singh M, Khosla D, Patel P. Correlation of fMRI and EEG imaging during visual stimulation. *Proceeding 4th International Conference of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, New York, 1996
- 20 Puce A, Allison T, Spencer S S, *et al.* Comparison of cortical activation evoked by faces measured by intracranial field potentials and functional MRI: two case studies. *Human Brain Mapping*, 1997, **5** (4): 298~ 305
- 21 Mangun G R. Neural mechanisms of visual selective attention in humans. *Psychophysiology*, 1995, **32** (1): 4~ 18
- 22 Martinez A, Anlló-Vento L, Sereno M I, *et al.* Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nature Neuroscience*, 1999, **2** (4): 364~ 369
- 23 Ungerleider L G, Haxby J V. "What" and "where" in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 1994, **4** (2): 157~ 165
- 24 Ahlfors S P, Simpson G V, Dale A M, *et al.* Spatiotemporal activity of a cortical network for processing visual motion revealed by MEG and fMRI. *J Neurophysiol*, 1999, **82** (5): 2545~ 2555

The Achievements of Multimodal Neuroimaging Research^{*}

RAO Heng-Yi^{**}, CHEN Lin

(Beijing Laboratory of Cognitive Science, University of Science and Technology of China, Beijing 100039, China)

Abstract In order to arrive at a complete description and understanding of brain function and anatomy, the neuroimaging techniques are required to provide both high temporal resolution and high spatial resolution. Multimodal imaging that combining hemodynamic and electrophysiological information (i. e., fMRI/PET and EEG/MEG), holds promise for imaging patterns of human brain activity in both space and time. Multimodal imaging has succeeded in revealing the spatiotemporal pattern of brain activity underlying selective attention, visual perception of kinetic form, voluntary movement and semantic processing. However, there are still much work to do to improve the accuracy and the spatiotemporal resolution of multimodal imaging to elucidate the neural mechanisms of human cognition.

Key words multimodal imaging, functional magnetic resonance imaging, positron emission tomography, electroencephalograph, magnetoencephalography, selective attention, visual pathways

^{*} This work was supported by grants from the National Nature Science Foundation of China (6979080) and the National Basic Research Programs of China (1998030503).

^{**} Corresponding author. Tel: 86-10-68226065-8140, E-mail: hyrao@sina.com

Received: March 2, 2001 Accepted: May 17, 2001