

## 汉语语义加工的相关脑区

单保慈<sup>1</sup> 张武田<sup>2</sup> 马林<sup>3</sup> 李德军<sup>3</sup> 曹丙利<sup>1</sup> 唐一源<sup>5</sup> 吴义根<sup>1</sup> 唐孝威<sup>1,4</sup>

①中国科学院高能物理研究所, 北京 100039; ②中国科学院心理研究所, 北京 100101; ③中国人民解放军总医院, 北京 100853;

④浙江大学物理系, 杭州 310027; ⑤大连理工大学神经信息学研究所, 大连 116023 联系人, E-mail: shanbc@mail.thep.ac.cn

**摘要** 利用无创伤的脑功能成像方法研究了正常中国人在进行汉语语义加工时所激活的脑区。根据传统理论, 语义加工与语言的输入通路无关, 因此, 分别进行了视觉和听觉语义加工的脑功能成像研究, 通过寻找两条通路的公共激活区域来确定汉语的语义加工脑区。结果显示, 左侧大脑半球的颞下回、颞上回后部与缘上回的交界处、颞下回后部及梭状回; 右侧大脑半球的颞中回、颞上回后部及其相邻的缘上回; 双侧小脑和枕叶的腹外侧部等, 可能与汉语的语义加工有关。研究结果为进一步研究各脑区在汉语语义加工中的作用提供了重要参考。

**关键词** 汉语认知 语义加工 大脑 小脑 脑功能成像

语言是人与人之间交流的重要工具, 在人们日常生活中起着非常重要的作用。视觉和听觉是语言的两条主要输入通路, 尽管两条通路所提供的信息种类不同, 但是, 通过阅读和听都可以正确理解语言的内容。我们的大脑是如何理解语言的意义的? 哪些脑区参与完成了语义加工的过程? 这一直是认知神经科学所要解决的重要问题之一。确定语义加工相关脑区的位置不仅在认知科学上具有重要意义, 而且在临床应用方面也具有重要价值。例如, 在选择神经外科手术的路径时应尽量避开一些重要的脑功能区, 语言区便是需要重点考虑的功能区之一。

早期关于大脑中语言区的认识主要来自于对在语言障碍的脑损伤病人的研究。根据脑损伤的位置和语言障碍情况可以推测相应语言区的位置。但是, 语言加工是一种复杂的高级神经活动, 需要多个脑区的共同参与来完成, 单个病人可能只是损伤了其中的某个脑区或者是相关脑区之间的连接区域, 所以从单个病人获得的信息是局部和有限的。因此根据脑损伤来推测语言区应该需要大量的、各种各样的病例, 但合适的病例往往是可遇而不可求的。近些年发展起来的脑功能成像技术为脑功能研究提供了有效的手段, 研究人员已经利用脑功能成像技术, 研究了各种语言加工任务所激活的脑区, 语义加工是其中的主要研究任务之一。根据目前被广泛接受的认识科学的观点, 在大脑中存在一个不依赖于输入或输出通路的语义加工网络, 因此, 直接比较视听两条通路语言任务的激活脑区, 从中找出共同的激活区域, 是一种较好的寻找语义加工脑区的方法。以前

的脑功能成像研究大部分是单独的视觉或听觉语义加工实验, 只有少数研究同时进行了视觉和听觉语义加工实验<sup>[1,2]</sup>, 而且, 这些视听语义加工实验的结果也不完全一致, 因此, 为了确定和语义加工相关的脑区, 还需要继续进行这方面的研究。

汉字是表意文字, 汉字的加工可能与拼音文字不同<sup>[3]</sup>。对汉字语义加工脑区的研究可以进一步拓展我们对语义加工脑区的认识。最近几年, 已陆续有一些关于汉语的脑功能成像方面的研究报告<sup>[4-9]</sup>, 但是, 这些研究采用的基本上都是视觉刺激, 就我们所掌握的文献, 目前还没有发现同时利用视听通路进行汉语语义加工脑功能成像研究的报道。根据传统理论, 语义加工与语言的输入通路无关, 本研究利用功能磁共振技术, 分别进行了视觉和听觉语义加工的脑功能成像研究, 通过寻找两条通路的公共激活区域来确定汉语的语义加工脑区。

### 1 方法

本研究共有 9 名讲普通话的正常中国人作为被试, 6 男 3 女, 年龄在 24~37 岁之间, 均为右利手, 受教育程度均在大学本科以上。由于汉语中多音字很多, 为了避免听觉实验时一字多音可能对语义加工造成影响, 实验材料采用双字词, 均为词频高于 34/10<sup>6</sup> 的常用词。有研究证实不同范畴的词汇在语义系统中可能存在分离现象<sup>[10]</sup>, 因此本研究选用动物范畴判断作为实验任务。实验设计采用模块设计, 每个实验包括 4 个对照模块(20 s)和 4 个任务模块(40 s), 任务和对照交替进行, 以对照模块作为开始, 在对照模块中, 要求被试注视视野中间的“+”符号, 不做任

何判断: 在任务模块中, 要求被试判断呈现的词是否为动物名词, 是则按右键, 否则按左键, 按键结果由计算机记录, 如果正确率低于 80%, 则舍弃本次实验数据. 每一个任务模块包括 10 个动物名词和 10 个非动物名词, 每个词呈现 2 s, 呈现的顺序为随机排列. 视觉实验和听觉实验分别进行. 在视觉实验中, 实验材料用计算机通过多媒体投影仪投射到毛玻璃上, 被试通过核磁共振仪射频线圈上的反光镜观看所呈现的材料. 听觉实验与视觉实验相似, 只是在对照模块中没有任何听觉材料, 听觉词汇由计算机通过与核磁共振仪配套的声音传导系统和专用耳机传递给被试.

成像设备采用 1.5 T (GE signa)核磁共振成像仪, 功能图像采集采用 EPI 脉冲序列获取  $T_2^*$  加权血氧依赖水平(BOLD)脑功能图像, TR = 2 s, TE = 40 ms, 层厚 7 mm, 间隔 1 mm, 共 14 层(包括全脑), 图像矩阵为  $64 \times 64 \times 14$ . 为了避免开始扫描时的磁场波动, 实验任务在核磁扫描 8 s 后开始, 前 8 s 的图像在数据处理时去掉. 每个实验共进行 4 min, 获得 120 个全脑的功能图像. 功能图像数据用 SPM99(Wellcom Department of Cognitive Neurology, Institute of Neurology, London, UK)软件进行处理. 首先对图像数据进行格式转换, 再将功能图像序列进行空间配准, 并标准化到 Talairach 空间<sup>[11]</sup>, 然后利用半高宽(FWHM)为  $12 \text{ mm} \times 12 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$  的三维高斯函数对标准化后的数据做空间平滑. 根据广义线性模型对平滑后的数据进行统计学分析, 利用比例因子消除全脑

效应, 采用高通和低通滤波消除测量噪声和生理噪声. 然后利用单边  $t$  检验逐像素检验任务与对照状态的差异,  $P \leq 0.01$  的像素构成统计参数图, 该图即为实验任务激活的脑区. 最后利用 SPM 的 mask 功能定出视觉与听觉任务共同激活的脑区<sup>[10]</sup>.

## 2 结果

表 1 列出了两种任务共同激活的脑区, 其中包括大脑左侧半球额下回的 44 区和 47 区, 颞上回 22 区后部与顶下小叶 40 区交界区域, 梭状回 37 区及相连的纹外皮层腹侧部 18, 19 区; 右侧大脑半球的颞叶、顶叶和中央后回的交界处 22, 42, 40 区和 3, 1, 2 区, 纹外皮层腹侧部 18, 19 区; 双侧小脑也有激活区. 这些公共激活区叠加到三维立体脑结构图像上, 如图 1 所示.

## 3 讨论

本研究所发现的大部分激活脑区与以前的研究符合得比较好. 在这些共同激活的脑区中, 左侧额下回是传统的语言区 broca 区及其相邻区域. 脑损伤<sup>[12]</sup>和脑功能成像<sup>[8,10]</sup>研究均说明该区域与语言加工有密切关系, 但是, 对该区域在语言加工过程中所起的作用还存在不同的认识. 传统观点倾向于左侧额下回主要起“语言表达”或“输出”的作用, 这种观点主要来自于早期的脑损伤病人的结果, 因为该区域(主要是 broca 区)损伤引起运动性失语. 但是, 本实验和国外的一些研究结果<sup>[4,6~8]</sup>均显示左侧额下回在没有语言表达要求的实验中也激活. 最近, 有研究认为左侧

表 1 视觉和听觉汉语语义加工的共同激活脑区<sup>a)</sup>

视听任务共同激活脑区	Brodmann 分区(BA)	Talairach 坐标			t 值
		x	y	z	
前额叶					
左侧额下回	44	-52	14	12	5.03
右侧额下回	47	-52	30	-2	3.31
顶叶					
左顶下小叶	40	-46	-38	34	3.24
右顶下小叶	40	66	-20	14	3.57
颞叶					
左侧梭状回	37	-46	-54	-16	4.26
左侧颞上回	22	-54	-24	12	2.43
右侧颞横回	42	68	-20	12	3.50
枕叶					
左侧纹外区	18	-22	-98	6	13.20
右侧纹外区	18	22	-98	2	12.30
小脑					
左侧小脑		-44	-64	-22	10.78
右侧小脑		44	-64	-22	9.68

a)  $P = 0.01$

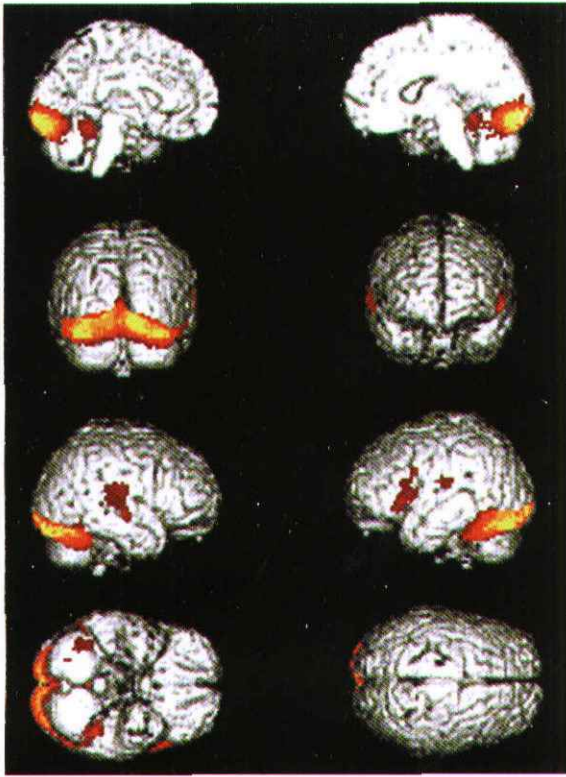


图1 视觉和听觉语义加工共同激活脑区的三维显示

额下回在语义加工任务中可能起“执行”作用，它主要进行选择、比较、判断或从记忆中提取信息<sup>[13]</sup>。

另一个被共同激活的脑区位于左侧颞上回后部及其相邻区域，这是另一个传统的语言区——wernicker区。早期通过脑损伤病人的研究发现，该区域损伤引起感觉性失语。近些年来很多脑功能成像实验也显示该区域在语义加工中具有重要作用<sup>[14,15]</sup>，它不仅在视觉语义任务中被激活<sup>[16]</sup>，而且在听觉语义任务中也被激活<sup>[17]</sup>。另外，在视听脑功能成像实验中也发现颞上回后部在语义任务中被共同激活<sup>[9]</sup>。

左侧颞下回后部及其相邻的梭状回和枕叶腹外侧部是最近语言实验中被讨论的比较多的脑区。对脑损伤病人的研究发现，颞下回后部与语义损伤有关<sup>[18]</sup>。Price<sup>[19]</sup>在总结了前期的一些脑功能成像实验和脑损伤研究的结果后提出，左侧颞下回是关键的语义加工脑区。最近的脑功能成像实验<sup>[20,21]</sup>和ERP实验<sup>[22]</sup>的结果都显示该脑区可能与语义加工有关。该区域在视觉语义加工实验<sup>[15,23,24]</sup>和听觉语义加工实验<sup>[10]</sup>中均被激活，并且在词汇认知语义任务和图片认知语义任务中也被共同激活<sup>[25]</sup>。Booth等人<sup>[2]</sup>在视听实验中发现该区域以及相邻的颞中回后部被激

活，他们提出左侧颞下回和颞中回负责语义加工。该区域不仅在英语等字母语言的加工中扮演重要角色，在汉语的脑功能成像研究中也屡见激活<sup>[2,3]</sup>。另外，梭状回与顶-颞交界区有很强的相关性<sup>[26]</sup>。也有人将该区域称为继“broca区”和“wernicker区”之后的“第三语言区”<sup>[27]</sup>。

右侧颞叶后部及相邻的缘上回等被激活与以前的汉字加工脑功能成像研究的结果一致或部分重合<sup>[4-6]</sup>。但是，在英语等字母语言的语义加工任务中很少发现该区域的激活，该区域是否是汉语语义加工的特异脑区还有待于进一步研究。

双侧小脑被激活在其他汉语<sup>[5-7]</sup>和非汉语<sup>[6,8]</sup>研究中也被发现，目前，小脑参与认知等非运动功能的观点已得到大家的认可，但是它们在语言加工中的作用还不清楚，有研究认为小脑在语义加工中可能起辅助支持作用<sup>[7]</sup>。由于在我们的实验中既存在语义加工过程，也存在语义判断时的按键动作，因此，我们不能确定小脑的激活是由语义加工还是由运动引起的。

双侧枕叶腹侧区域被共同激活是我们没有预料到的，因为枕叶主要与视觉信息的加工有关。为什么在进行汉语听觉语义加工任务的时候该区域也出现了激活呢？我们推测可能是被试在听到一个汉语词后不自主地想象词形，从而引起视觉腹侧通路的激活，而以前的研究也发现位于枕叶腹侧部的纹外皮层与想象有关<sup>[28]</sup>，因此该区域的激活可能不是由语义加工引起的。该区域在进行听觉语义加工时被激活的原因还有待于进一步研究。

**致谢** 本工作为国家重点基础研究发展规划资助项目(批准号: G1999054000)。

### 参 考 文 献

- 1 Chee M, O'Craven K M, Bergida R, et al. Auditory and visual word processing studied with fMRI. *Human Brain Mapping*, 1999, 7: 15-28
- 2 Booth J R, Burman D D, Meyer J R, et al. Modality independence of word comprehension. *Human Brain Mapping*, 2002, 16: 251-261
- 3 Rozin P, Poritsky S, Sotsky R. American children with reading problems can easily learn to read English represented by Chinese characters. *Science*, 1971, 171: 1264-1267
- 4 Chee M, Tan E, Thiel T. Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *J Neurosci*, 1999, 19: 3050-3056
- 5 Tan L H, Spinks J A, Gao J H, et al. Brain activation in the processing of Chinese characters and words: a functional MRI study.

- Human Brain Mapping, 2000, 10: 16~27
- 6 Tan L H, Liu H L, Perletti C A, et al. The neural system underlying Chinese logograph reading. *Neuroimage*, 2001, 13: 836~846
  - 7 Tan L H, Feng C M, Fox P T, et al. An fMRI study with written Chinese. *Neuroreport*, 2001, 12: 83~88
  - 8 Luck K K, Liu H L, Wai Y Y, et al. Functional anatomy of syntactic and semantic processing in language comprehension. *Human Brain Mapping*, 2002, 16: 133~145
  - 9 Xiang H, Liu C, Ma X, et al. Involvement of the cerebellum in semantic discrimination: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2003, 18: 208~214
  - 10 Noppeny U, Price C J. Functional imaging of the semantic system: Retrieval of sensory-experienced and verbally learned knowledge. *Brain and Language*, 2003, 84: 120~133
  - 11 Talairach J, Tournoux P. *Co-planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. New York: Thieme, 1988. 1~110
  - 12 Swick D. Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic. *Cognitive Brain Research*, 1998, 7: 143~157
  - 13 Cabeza R, Nyberg L. Imaging cognition II: an empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J Cogn Neurosci*, 2000, 12: 1~47
  - 14 Demonet J, Chollet F, Ramsay S, et al. The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 1992, 115: 1753~1768
  - 15 Grossman M, Koenig P, DeVita C, et al. Neural representation of verb meaning: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2002, 15: 124~134
  - 16 Perani D, Cappa S F, Schnur T, et al. The neural correlates of verb and noun processing: a PET study. *Brain*, 1999, 122: 2337~2344
  - 17 Newman S D, Twieg D. Difference in auditory of words and pseudowords: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2001, 14: 39~47
  - 18 Alexander M P, Hiltbrunner B, Fischer R S. Distributed anatomy of transcortical sensory aphasia. *Archives of Neurology*, 1989, 46: 885~892
  - 19 Price C J. The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends in Cognitive Sciences*, 1998, 2: 281~288
  - 20 Murtha S, Chertkow H, Beauregard M, et al. The neural substrate of picture naming. *J Cogn Neuroscience*, 1999, 11: 399~423
  - 21 Buchel C, Price C, Friston K. A multimodal language region in the ventral visual pathway. *Nature*, 1998, 394: 274~276
  - 22 Hinojosa J A, Martin-Loeches M, Rubia F J. Event-related potentials and semantics: an overview and an integrative proposal. *Brain and Language*, 2001, 78: 128~139
  - 23 Devlin J T, Russell R P, Davis M H, et al. Is there an anatomical basis for category-specificity? Semantic memory studies in PET and fMRI. *Neuropsychologia*, 2002, 40: 54~75
  - 24 Thompson-Schill S L, Aguirre G K, D'Esposito M, et al. A neural basis for category and modality specificity of semantic knowledge. *Neuropsychologia*, 1999, 37: 671~676
  - 25 Vandenberghe R, Price C, Wise R, et al. Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, 1996, 383: 254~256
  - 26 Horwitz B, Rumsey J M, Donohue B C. Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998, 95: 8939~8944
  - 27 Luders H, Lesser R P, Hahn J, et al. Basal temporal language area. *Brain*, 1991, 114: 743~754
  - 28 O'Craven K M, Kanwisher N. Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *J Cogn Neuroscience*, 2000, 12: 1013~1023

(2003-06-06 收稿, 2003-10-09 收修改稿)

· 书 讯 ·

## 《蛋白质与蛋白质组学实验指南》

(影印版)

著者: (澳) R. J. 辛普森

出版: 科学出版社 2003年9月

定价: 98.00元

随着人类基因组及其他一系列生物基因组测序的完成, 蛋白质组研究的大门已经开启。本书是冷泉港实验室出版社最新推出的《蛋白质和蛋白质组学实验指南》(Proteins and Proteomics: A Laboratory Press)的英文影印版, 秉承了冷泉港实验手册一贯的先进性、实用性和权威性, 提供了一系列可操作性强、行之有效的对蛋白质(细胞及细胞通路中)进行分离、鉴定、定量及功能分析的实验方案, 和适于分析蛋白质结构包括电泳及色谱制备分析的方法, 以及蛋白质芯片和生物信息学的相关内容。

本书内容丰富, 信息全面, 方案设计完善, 技术适用范围较广, 并为所涉及的技术的应用和相应原理提供了广泛的背景信息和参考文献, 是遗传学、分子生物学研究者从基因组学、基因型研究转向蛋白质组和表型研究的必备工具书。

## 《螺旋藻生物学及生物技术原理》

编著: 胡鸿钧

出版: 科学出版社 2003年10月

定价: 28.00元

这是一部有关螺旋藻的专著, 作者根据近 10 多年来国内外的研究成果和实践经验, 从理论和应用两方面全面、系统地论述了螺旋藻的生物学、生物技术原理及生产技术, 阐释了国内外学者在螺旋藻的分类学、细胞学、生活史及生理、生化、遗传学方面的研究成果, 对国内外螺旋藻工厂化生产的建立与发展的简史作了扼要的叙述, 并针对目前我国螺旋藻产业发展中出现的问题提出一些克服或解决的办法, 在有关章节中从理论上较深入地介绍了螺旋藻的营养成分和几种主要活性物质的主要生理功能, 同时对我国螺旋藻产业的发展提出了一些设想。

本书可作为高等院校和科研院所生物学、藻类学、生物技术、微藻生物技术等专业师生教学及科研的参考书, 也可作为螺旋藻工厂(企业)、微藻养殖技术人员和技术管理人员的工具书。