

# 句子加工脑机制功能磁共振研究进展

周雪婷<sup>1,2</sup>, 蔡太生<sup>1</sup>

(1.中南大学湘雅二医院医学心理学中心,湖南 长沙 410011;

2.长沙理工大学外国语学院,湖南 长沙 410076)

【摘要】 语言理解中,句子加工至关重要,其大脑机制是神经语言学比较关注的问题。近年来句法加工的脑成像研究大量涌现。本文对目前该领域的研究,以及汉语句子加工的最新进展进行了归纳与总结。

【关键词】 句子加工; 功能磁共振成像; 语义分析; 句法分析

中图分类号: R395.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3611(2009)05-0592-03

## A Strategic Study of Brain Mechanism of Sentence Processing by fMRI

ZHOU Xue-ting, CAI Tai-sheng

Clinical Psychology Center, Xiangya Second Hospital, Central South University, Changsha 410011, China

【Abstract】 Sentence processing is very important in language comprehension, and its brain mechanism is an important issue in the study of neurolinguistics. In recent years, many fMRI researches on sentence processing have been done. In this paper, the strategic study in the field and the Chinese sentence processing study were reviewed and discussed.

【Key words】 Sentence processing; fMRI; Semantic analysis; Syntactic analysis

本文综述了国内外学者应用功能磁共振(fMRI)技术对正常人进行句子加工的脑机制研究进展。

## 1 语义分析的脑成像研究

语义加工脑机制研究最典型的实验范式即“语义违反句阅读”。实验的任务主要有两种,即语义正常句和语义违反句。另一种任务是补句,即向被试呈现一些不完整的句子,让被试根据实验要求补充语义符合或不符合的词,考察被试在自主调节词的符合程度时的脑区激活情况。

### 1.1 词类违反

在 Baumgaertner 等人的 fMRI 研究中<sup>[1]</sup>,让被试直接阅读语义违反句,要求被试在读完句子的最后一词后快速地对词汇判断。与符合预期句相比,语义违反句子更易激活左侧额下回及左侧颞叶的中后部。

Nathaniel 的实验<sup>[2]</sup>则采用补句任务,让被试阅读省略了一个词的句子,然后要求其给出一个填充词。在条件 A 中,被试要给出一个符合句义的词;条件 B 中,给出一个不符合句义的词。结果发现不符合词的条件,左背侧前额叶皮层显著激活;对于符合词的条件,则激活前额脑区底部的中央。

### 1.2 句法违反

Meyer 等用事件相关 fMRI 技术考察了数、性、格的一致违反条件下被试的脑反应<sup>[3]</sup>。结果发现几个左侧颞叶脑区的脑反应根据句子符合语法的程度不同而变化。另外,当被试额外进行修正任务时,可以观察到右侧大脑外侧裂附近皮层的局部血流量的增加。Newman 等考察了引入无关动词条件(语义违反)下的脑活动情况,发现额叶的不同区域对上述违反敏感<sup>[4]</sup>,其中右侧额下回中的岛盖部对名词-动词的数的一致的违反敏感,而三角部对于无关动词的引入更加敏感。

Homae<sup>[5]</sup>使用 fMRI 确定和语句处理相关的皮层激活,以说明在句子理解的时候听觉和视觉输入在何处汇合。结果表明,左脑前部腹侧额下回(BA45/47)是和语义信息选择融合相关,并独立于词汇-语义处理的区域。Friederici 等<sup>[6]</sup>研究发现语言的听觉输入能明显激活听觉皮质及其双侧相邻的区域。

总之,语义分析激活的脑区主要集中于左侧额叶的一些脑区,颞叶的中下皮层,右侧的颞上回、颞中回。如果句子中词的语义违反程度增加,运动皮层和左侧角回也会被激活。

## 2 句法分析的脑成像研究

除语义分析外,一些研究者让正常被试进行句法操作的同时进行脑部成像,从而推测负责句法加工的脑区。Suzuki 认为<sup>[7]</sup>,读者在正常的阅读过程中进行的是内隐的语法加工,而在完成某种语法任务时才是一种外显的语法加工。

### 2.1 内隐的句法分析

Just 等运用 fMRI 技术也研究了这一问题,他们操纵句子的复杂性,让被试对句子进行可接受性判断,发现左右半球的维尔尼克区和布罗卡区都得到了激活,左半球的激活程度更高<sup>[8]</sup>。

Stowe 等运用不同的实验任务发现复杂句法条件与简单句法条件相比,后部颞中和颞上回得到了激活,表明这些区域可能参与句子结构的加工<sup>[9]</sup>。Peelle 等让被试阅读两种复杂程度不同的句子<sup>[10]</sup>:关系从句所修饰的主句的主语在关系从句中也做主语;其主语在关系从句中充当宾语。结果发现,语法复杂句(第二类句子)会激活左侧额下回与右尾状核。Constable 的实验<sup>[11]</sup>进一步证明了,复杂句不仅激活了左侧的额下回,并且激活了颞中回、颞上回以及角回。研究者认为这些脑区构成了皮层中负责句法分析的核心系统。

Shibata 等<sup>[12]</sup>利用事件相关 fMRI 研究隐喻句和字面句理

解的神经机制。实验研究了小说隐喻句子理解的神经机制,发现当被试阅读隐喻句子时,左内额皮层(MeFC:(BA)9/10),左上额皮层(SFC: BA 9),及左下额皮层(IFC:BA45)有更高程度的激活。反之(字面句子相比隐喻句子),顶上小叶(BA 7),右中和左上额皮层(BA 8/9)有更高程度的激活。

Uchiyama 等研究了讽刺语理解的神经机制<sup>[13]</sup>。20 个正常成年志愿者进行功能磁共振成像研究。结果表明理解讽刺语激活左颞极,上颞回,内额前皮层及额下回(BA 47)。

Sieböcker 等研究归纳推理在语篇理解中的作用<sup>[14]</sup>。既往研究表明,背内额前皮质在成功建立语言的连贯性方面起着重要作用。该实验进一步探讨了背内额前皮质的激活是否能够被任务模式调节,或是否否为一种刺激特点功能。实验表明,视觉及空间定位模式建立在推理过程起作用。最重要的是,额内皮质信号改变的时间过程证明所有分级条件都有相等程度的该脑区参与,而且该过程延伸到整个相对长的决定期。因此,背内额前回激活能被任务模式调节,并反映了非自动认知过程,有利于外部刺激及特殊反应标准间的整合。

## 2.2 外显的句法分析

将看似语法正确却没有意义的句子和正常的句子条件比较,Friederici 等发现了后部颞上沟的激活,也发现前部颞上沟的部分激活。他们还将无意义句与正常句、真词列以及假词列条件进行比较,发现双侧布罗卡区中部的激活<sup>[6]</sup>。Meyer 等在 fMRI 实验中运用了两种句子条件,一为包含正常功能词和内容词的正常口语,二为包含功能词和假词的假口语。两种条件的比较结果表明,相对于正常句子,听假句子的被试在前部的颞上区域和额叶盖部产生了强的激活<sup>[15]</sup>。

Suzuki<sup>[7]</sup>的研究中,要求被试对听觉呈现的句子进行加工,将语法判断条件与其他任务条件进行关联分析,减法之后所表现出的激活模式即属于外显语法加工的神经机制。在语法减去(语义+语音+音调)的句子加工研究中,发现左侧额下回(BA44、BA45)的激活,这意味着左侧额下回的激活是由于外显的语法加工而不是内隐的语法加工所引起。在语法领域内,外显的信息加工关键在于左侧额下回。除了语法判断任务,按语法规则组词成句也是一种外显的语法加工。Haller 的实验<sup>[16]</sup>发现,实验者控制组进行比较,主要激活了左侧额下回、额中回、顶叶上部与右侧脑岛。

Kovelman I 等研究了双语和单语的脑机制<sup>[17]</sup>。fMRI 分析提示,双语者在处理英语时比英语单语者在左下额皮质(BA 45)区的血氧水平依赖信号有更大程度增加。但是,双语者双语陈述时的分离程度,双语及单语者脑区激活差异提示是否存在可能的双语神经信号有待进一步研究。Zempleni 等研究了母语和非母语被试对阅读句子的句法和语义信息的加工过程<sup>[18]</sup>。结果表明,当阅读句子时,非母语被试较母语被试有更大程度的多语言及运动相关脑区的激活。而在母语被试中,与语义加工相比,句法加工伴随着更多的左中到后上颞回的激活。

句法分析激活的脑区主要体现在大脑左侧,左侧额下回、布洛卡区、颞上回前部,颞叶后外侧、前扣带回皮层以及双侧顶叶中央与下部脑区。

## 3 汉语句子的脑机制研究

汉语句法和英语有许多不同,如英语根据形态变化就可以区分词类,而汉语则不能;英语每一个词的句法功能基本是稳固的,而汉语各类词的句法功能有很大争议。

Luke 等利用 fMRI 研究了汉语句法和语义<sup>[19]</sup>。实验结果显示:在汉语句法加工中激活的区域包括左额中回(BA9、46),左额中上回(BA10),左胼侧体下(BA34),右额上回(BA10),左舌回(BA17),右枕下回(BA18),小脑左前叶和右侧山顶部;语义激活区包括左额中回(BA9),左额下回(BA45/46),右额下回(BA46),左颞中回(BA21),右枕下回(BA180),左侧丘脑和小脑扁桃体部。句法加工中,额叶中回比前额叶下回激活体积大;而语义加工中,额叶下部比额叶中回的激活体积大得多。这表明额叶中回和额叶下回分别在汉语的句法和语义加工中起主要作用。

杨亦鸣等在探讨汉语名动分类的研究中首先使用了 fMRI 技术<sup>[20]</sup>,通过对 6 例正常被试的研究发现,汉语名词、动词在重叠和相互组合的时候,除了左前额叶和纹外区以外,不同语言材料的激活脑区有较大的差异。Xiang 等的研究表明左额叶中回、下回在汉语的语义辨别加工任务中激活明显<sup>[21]</sup>,也证明了小脑在汉语的语义加工中起很重要的作用,这也是小脑语言功能的最新证据。

Li 等人研究了汉语动词名词的表达<sup>[22]</sup>。实验发现,汉语名词和动词在两半球激活区域广泛,相互重叠,形成网络。拼音文字与表意文字的一系列研究结果是一致的。郝晶的研究将语义加工细化<sup>[23]</sup>,她研究了语义判断中选择与抑制机制。发现负责语义加工与抑制功能的主要脑区均位于前额叶,但两者之间并非截然分开,而是相互重叠,主要体现在背侧、腹侧前额叶中部及背侧前扣带回。左侧额顶区可能专于语义选择。

## 4 结 语

目前研究者对句子加工的脑机制进行了大量研究,借助经典的句子加工和认知实验研究范式,使用功能成像技术,探索了句子语义加工、句法加工的脑机制,说明额叶、颞叶、顶叶以及扣带回与角回等脑区,都会影响句子加工。但是,由于研究范式与研究手段的局限,以及人脑神经网络的复杂性,很多理论与假设都尚未定论。今后的研究方向既要关注验证先前的研究结果,又要扩展研究范围。

### 参 考 文 献

- 1 Baumgaertner A, Weiller C, Buchel C. Event-related fMRI reveals cortical sites involved in contextual sentence integration. *NeuroImage*, 2002, 16(3): 736-745
- 2 Nathaniel-James DA, Frith CD. The role of the dorsolateral prefrontal cortex: Evidence from the effects of contextual constraint in a sentence completion task. *NeuroImage*, 2002, 16(4): 1094-1102
- 3 Meyer M, Friederici AD, Cramon DY. Neurocognition of auditory sentence comprehension: Event related fMRI reveals sensitivity to syntactic violations and task demands.

- Cognitive Brain Research, 2000, 9: 19-33
- 4 Newman SD, Just MA, Keller TA, et al. Differential effects of syntactic and semantic processing on the subregions of Broca's area. *Cognitive Brain Research*, 2003, 16: 297-307
  - 5 Homae F, Hashimoto R, Nakajima K, et al. From perception to sentence comprehension: The convergence of auditory and visual information of language in the left inferior frontal cortex. *NeuroImage*, 2002, 16: 883-900
  - 6 Friederici AD, Meyer M, von Cramon DY. Auditory language comprehension: An event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain Language*, 2000, 74: 289-300
  - 7 Suzuki K, Sakai KL. An Event-related fMRI study of explicit syntactic processing of normal/anormal sentences in contrast to implicit syntactic processing. *Cerebral Cortex*, 2003, 13(5): 517-526
  - 8 Just MA, Carpenter PA, Keller TA, et al. Brain activation modulated by sentence comprehension. *Science*, 1996, 274(5284): 114-116
  - 9 Stowe LA, Broere CA, Paans AM, et al. Localizing components of a complex task: Sentence processing and working memory. *Neuro Report*, 1998, 9: 1995-1999
  - 10 Peelle JE, McMillan C, Moore P, et al. Dissociable patterns of brain activity during comprehension of rapid and syntactically complex speech: Evidence from fMRI. *Brain and Language*, 2004, 91(3): 315-325
  - 11 Constable RT, Pugh KR, Berroya E, et al. Sentence complexity and input modality effects in sentence comprehension: A fMRI study. *NeuroImage*, 2004, 22(1): 11-21
  - 12 Shibata M, Abe J, Terao A, et al. Neural mechanisms involved in the comprehension of metaphoric and literal sentences: An fMRI study. *Brain Research*, 2007, 1166: 92-102
  - 13 Uchiyama H, Seki A, Kageyama H, et al. Neural substrates of sarcasm: A functional magnetic-resonance imaging study. *Brain Research*, 2006, 1124: 100-110
  - 14 Siebörger FT, Ferstl EC, von Cramon DY. Making sense of nonsense: An fMRI study of task induced inference processes during discourse comprehension. *Brainsearch*, 2007, 1166: 77-91
  - 15 Meyer M, Alter K, Friederici A. Functional MR imaging exposes differential brain responses to syntax and prosody during auditory sentence comprehension. *Journal of Neuro-linguistics*, 2003, 16: 277-300
  - 16 Hallera S, Radueb EW, Erbc M, et al. Overt sentence production in event-related fMRI. *Neuropsychologia*, 2005, 43(5): 807-814
  - 17 Kovelman I, Baker SA, Petitto LA. Bilingual and monolingual brains compared: A functional magnetic resonance imaging investigation of syntactic processing and a possible "neural signature" of bilingualism. *Cogn Neuroscience*, 2008, 20(1): 153-169
  - 18 Zempleni MZ, Haverkort M, Renken R, et al. Evidence for bilateral involvement in idiom comprehension: An fMRI study. *NeuroImage*, 2007, 34: 1280-1291
  - 19 Luke KK, Liu HL, Wai YY, et al. Functional anatomy of syntactic and semantic processing in language comprehension. *Human Brain Mapping*, 2002, 16(3): 133-145
  - 20 杨亦鸣, 梁丹丹, 顾介鑫, 等. 名动分类: 语法的还是语义的——汉语名动分类的神经语言学研究. *语言科学*, 2002, 1: 31-46
  - 21 Xiang H, Lin C, Ma X, et al. Involvement of the cerebellum in semantic discrimination: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2003, 18(3): 208-214
  - 22 Li Ping, et al. Neural representations of nouns and verbs in Chinese: An fMRI study. *NeuroImage*, 2004, 21: 1533-1541
  - 23 郝晶, 李坤成, 陈骥, 等. 语义判断中选择与抑制机制的功能 MRI 研究. *中国医学影像技术*, 2004, 20(2): 223-226
- (收稿日期: 2008-10-08)
- 
- (上接第 583 页)
- 4 Rădulescu AR, Mujica-Parodi LR. A systems approach to prefrontal-limbic dysregulation in schizophrenia. *Neuropsychobiology*, 2008, 57(4): 206-216
  - 5 Owen AM, McMillan KM, Laird AR, et al. N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 2005, 25(1): 46-59
  - 6 Garrity AG, Pearlson GD, McKiernan K, et al. Aberrant "default mode" functional connectivity in schizophrenia. *Am J Psychiatry*, 2007, 164(3): 450-457
  - 7 Tomasi D, Ernst T, Caparelli EC, et al. Common deactivation patterns during working memory and visual attention tasks: An intra-subject fMRI study at 4 Tesla. *Hum Brain Mapp*, 2006, 27(8): 694-705
  - 8 Crottaz-Herbette S, Anagnoson RT, Menon V, et al. Modality effects in verbal working memory: Differential prefrontal and parietal responses to auditory and visual stimuli. *NeuroImage*, 2004, 21(1): 340-351
  - 9 Ragland JD, Gur RC, Valdez J, et al. Event-related fMRI of frontotemporal activity during word encoding and recognition in schizophrenia. *Am J Psychiatry*, 2004, 161(6): 1004-1015
  - 10 Zhou Y, Liang M, Tian L, et al. Functional disintegration in paranoid schizophrenia during resting-state fMRI. *Schizophr Res*, 2007, 97(1-3): 194-205
  - 11 Zhou Y, Shu N, Liu Y. Altered resting-state functional connectivity and anatomical connectivity of hippocampus in schizophrenia. *Schizophr Res*, 2008, 100(1): 120-132
  - 12 Schlösser RG, Nenadic I, Wagner G, et al. White matter abnormalities and brain activation in schizophrenia: A combined DTI and fMRI study. *Schizophr Res*, 2007, 89(1): 1-11
- (收稿日期: 2009-03-23)