

左侧颞中回在汉语亚词汇加工中神经机制的 fMRI 研究

曹燕翔, 王晓怡, 徐玥, 舒华, 卢洁, 李坤成

【摘要】 目的:利用功能磁共振成像(fMRI)技术探讨左侧颞中回在汉语亚词汇加工过程中的神经机制。**方法:**对年龄 19~25 岁的 17 例健康志愿者在执行汉语同音判断任务时行 fMRI 扫描。本研究采用了双因素 2×2 重复测量设计,两个因素分别为汉字的声旁频率(高频、低频)和规则一致性(规则一致、不一致),所用汉字均为低频形声字。行为数据采用 SPSS 17.0 软件包进行方差分析。采用功能神经成像分析软件 AFNI 对 fMRI 数据进行处理,并根据组分析结果,做上述 4 种条件的 ROI 分析。**结果:**磁共振扫描过程中用 DMDX 程序记录患者反应,分析显示规则一致性的主效应显著($P<0.05$),而声旁频率的主效应不显著($P>0.05$)。fMRI 数据分析的主效应显示,左侧颞中回明显激活,进一步的 ROI 分析结果显示左侧颞中回对频率效应敏感($P<0.01$),而对规则一致性效应不敏感。**结论:**左侧颞中回在汉语亚词汇加工的语义加工特征中起重要作用。

【关键词】 颞中回; 亚词汇; 汉字; 功能磁共振成像; 平面回波成像

【中图分类号】 R445.2; R741.02 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)12-1259-03

Functional MRI study of left middle temporal gyrus in sublexical processing of Chinese Character Recognition CAO Yan-xiang, WANG Xiao-yi, XU Yue, et al. Department of Radiology, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, P. R. China

【Abstract】 Objective: To explore the brain mechanism of the sublexical processing of chinese character in left middle temporal gyrus by using functional magnetic resonance imaging (fMRI). **Methods:** In the current study, 17 right-handed Chinese healthy volunteers (19~25 years old) undertook a homophone judgment task by using fMRI. This study adopted repeated measurement design with two factors: the frequency of phonetic radicals (high frequency phonetic radicals and low frequency phonetic radicals) and regularity-consistency (regular-consistent and irregular-inconsistent). All the materials were low frequency characters. ANOVA were used in the analysis of the behavioral data by SPSS 17.0. And fMRI data were analyzed in AFNI software. The ROI analysis of the four levels was processed according to the results of the main effect of ANOVA. **Results:** The analysis of react time using DMDX program recording showed the main effect of regularity-consistency had statistical significance ($P<0.05$), but the main effect of the phonetic radicals frequency had no statistical significance ($P>0.05$). fMRI demonstrated that the processing in the left middle temporal gyrus was sensitive to frequency effect ($P<0.01$), and was not sensitive to regularity-consistency effect in sublexical processing of chinese character recognition. **Conclusion:** The left middle temporal gyrus plays an important role in sublexical processing of Chinese character recognition.

【Key words】 Middle temporal gyrus; Sublexical processing; Chinese character; Functional magnetic resonance imaging; Echo planar imaging

人脑对西方拼音文字中词汇的加工区域主要位于经典的 Broca 区(即左侧额下回)和 Wernicke 区(左侧颞上回后部),但是众多对汉语词汇的相关研究结果则显示相关脑区与西方拼音文字不同^[1-3]。已有研究发现,左侧颞中回在语言认知过程中起重要作用,主流观点认为颞中回是语义词典存储区域,涉及语言的初级语义加工^[2-4]。也有研究发现,人们在汉语阅读过程中,能够自动激活亚词汇的信息并进行亚词汇水平的加工^[5-6]。汉语的亚词汇对形声字来说,通常是指单个形声字的声旁与形旁。由于汉语的亚词汇本身也具有

词汇的特性,而颞中回在这种亚词汇加工过程中的作用并不清楚。汉字声旁频率分为高频和低频,高频和低频声旁条件下的形声字均为声旁独立成字的形声字。此外汉字分为规则一致和不规则不一致,前者是指声旁与整字读音相同,且含有此声旁的汉字家族内的所有字的读音都相同;后者是指声旁与整字的读音不同,且含有此声旁的汉字家族中所有字的读音不完全相同。本研究通过设计频率及规则一致性两个因素来考察不同条件下的汉字语音加工情况,通过功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术研究汉语亚词汇认知加工的主要语言激活区,旨在探讨脑加工作用机制。

材料与方法

受试者为 17 例在读大学生,其中男 8 例,女 9 例,

作者单位: 100053 北京,首都医科大学宣武医院医学影像学部放射科(曹燕翔、王晓怡、卢洁、李坤成); 100053 北京,磁共振成像脑信息学北京市重点实验室(曹燕翔、王晓怡、卢洁、李坤成); 100875 北京,北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室(徐玥、舒华)
作者简介: 曹燕翔(1973-),男,北京人,硕士,主治医师,主要从事脑血管病及其认知功能方面的诊断工作。
通讯作者: 李坤成, E-mail: likuncheng1955@yahoo.com.cn

年龄 19~25 岁,均为北方人,母语为汉语,普通话标准,右利手,身体健康,视力或矫正视力在正常范围。

本研究采用两因素 2×2 的组内设计,两个因素分别为规则一致性(规则一致、不规则不一致)和声旁类型(高频、低频),实验任务为同音判断。实验选用的材料均为低频形声字(平均频率小于 20 次/百万字),每种条件下有形声字 30 对,其中同音的形声字 15 对,不同音的形声字也是 15 对,总计 120 对共 240 个形声字。材料举例见表 1。对各条件间汉字的声旁频率和一致性程度进行操纵,并匹配整字频率、笔画数、家族成员数和声旁组字频率,其中声旁高频字的词频控制在 400 次/百万字以上,声旁低频字的词频控制在 20 次/百万字以下。

表 1 实验材料举例

类型	规则一致		不规则不一致	
	相同(右键)	不同(左键)	相同(右键)	不同(左键)
高频	键—涧	铭—恫	漆—笛	靴—朕
低频	婷—蜓	诤—腴	揩—钹	笋—谄

实验采用事件相关设计,呈现刺激和记录反应时使用 DMDX 软件,实验分为 3 个独立的段落完成,各条件下的实验材料平均分配在各个段落中,每个段落中实验任务的各条件的项目与基线任务的项目随机呈现,每对项目呈现时间为 1500 ms,受试者尽快判断汉字是否同音或符号是否相同并按键反应,如果相同按右键,不同按左键。项目之间的间隔时间 2500~14500 ms,平均 3500 ms。注视点为“+”,保持受试者的注意力始终集中于屏幕。每个段落之间受试者休息 15 min。

3. 扫描参数

应用 Siemens Sonata 1.5T 超导磁共振成像系统,标准正交头颅线圈。分别行横轴面 T₁WI、单次激发 EPI、三维磁化准备快速梯度回波(magnetization prepared rapid acquisition with gradient echo, MP-RAGE)序列矢状面扫描,以进行三维重建及空间配准。扫描序列和参数如下。EPI 序列:TR 2000 ms,TE 50 ms,翻转角 90°,视野 23 cm×23 cm,全脑扫描 20 层,层厚 6.0 mm,间距 1.8 mm,像素大小 3.6 mm×3.6 mm×6.0 mm;SE 序列:TR 500 ms,TE 14 ms,像素大小 1.8 mm×1.8 mm×6.0 mm;MP-RAGE 序列:TR 1970 ms,TE 3.93 ms,视野 23 cm×23 cm,全脑扫描 88 层,层厚 1.9 mm,间距 0.95 mm,像素大小 1.4 mm×1.0 mm×1.9 mm。

4. 数据分析

采用统计软件 SPSS 17.0 对磁共振仪采集的反应时数据进行方差分析,统计分析两个因素(声旁频率和规则一致性)的主效应及交互作用。功能磁共振数据

采用国际上通用的功能神经成像分析软件(analysis of functional neuroimage, AFNI) (<http://afni.nimh.nih.gov/afni>)对数据进行预处理和统计学分析。

在图像预处理中,首先对采集的数据进行三维图像重建,为了修正头动伪影,对功能图像分别进行各层对齐和全脑对齐的去头动校正。为排除机器初始启动匀场及被试状态不稳定等效应的影响,去除每个功能像的最初 4 个扫描数据。进行预处理包括以下几个步骤:时间平滑,头动校正,功能像与结构像配准,空间标准化和空间平滑(全宽半高=6 mm),随后进行统计分析,首先对单个被试建立模型,进行模型估计,采用广义线性模型中的固定效应模型(fixed effect model),组分析使用随机效应模型(random effect model),从组分析的整体主效应分析的激活脑区峰值点为球心画半径为 6 mm 的 ROI,抽取 4 种水平(声旁高频规则一致、不规则不一致及声旁低频规则一致反应、不规则不一致)的激活结果,并作方差分析。

结 果

1. 行为结果

磁共振扫描过程中用 DMDX 程序记录 4 个条件的反应时,统计分析结果显示:声旁高频规则一致时受试者的反应时为(1184±181) ms,不规则不一致反应时为(1243±218) ms;声旁低频规则一致的反应时为(1192 ±161) ms,不规则不一致反应时间为(1236±190) ms。反应时的方差分析结果显示,规则一致性的主效应显著($F_{(1,16)} = 12.927, P < 0.05$);声旁频率的主效应不显著($F_{(1,16)} = 1.673, P > 0.05$);对两个因素(声旁频率和规则一致性)间的交互作用进行了显著性检验,结果显示两个因素间的交互作用无统计学意义($P = 0.421 > 0.05$)。

2. fMRI 结果

声旁高频规则一致、不规则不一致及声旁低频规则一致、不规则不一致,四个条件的 fMRI 数据组分析的主效应显示,左侧颞中回明显激活(图 1),其中心点坐标为(-49,-37,-7)。以该点坐标为中心点的球形 ROI 分析结果显示,颞中回在汉语亚词汇的不同条件下激活表现不同,颞中回对频率效应敏感,即亚词汇高频的汉字(包括规则一致和不规则不一致字)比亚词汇低频的汉字,左侧颞中回激活显著(图 1b),差异有高度统计学意义($F_{(1,16)} = 8.65, P < 0.01$)。同时颞中回对规则一致性效应不敏感。规则一致性主效应进一步做两两比较,结果显示高频规则一致与低频规则一致差异显著($P < 0.05$),高频规则一致与低频不规则不一致差异显著($P < 0.05$)。

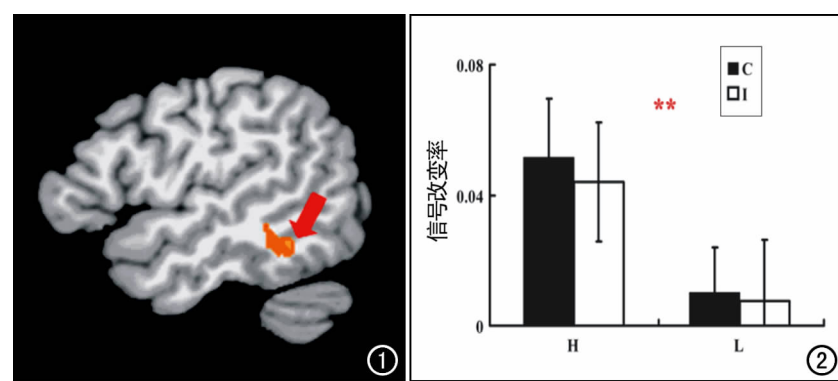


图 1 fMRI 示左侧颞中回在汉语亚词汇加工过程中明显激活(红色区域)。

图 2 直方图示颞中回在汉语亚词汇加工不同条件下的激活差异。H 高频, L 低频, C 规则一致, I 不规则不一致。

讨论

由于人脑对西方拼音文字的词汇加工特点与汉语的不同, 研究显示对西方拼音文字的加工过程中经典的激活脑区如 Broca 区和 Wernicke 区作为语言关键区的一系列理论并不完全适用于汉语被试^[7-9]。同样的, 西方拼音文字中体现的亚词汇作用主要体现在规则一致性, 其脑部激活部位在左侧颞上回后部及左侧颞下区, 其频率效应不明显^[10-14]。本研究结果发现左侧颞中回在汉语亚词汇加工中激活, 而且左侧颞中回对汉语亚词汇的频率效应敏感, 对规则一致性不敏感, 结果提示汉语亚词汇加工的特异性。本研究由于实验所选用的所有形声字均为低频汉字, 因此不论声旁频率高低, 都受到规则性和一致性效应的显著影响。

目前认为左侧颞中回可能与语言的众多认知加工过程密切相关, 颞中回更多参与语言的语义信息加工, 包括语义概念、词典语义及更高级的句法加工。研究认为左侧颞中回参与具体、可直接感知的语义特征的提取, 并能够对不同的语义特征或语义间关系进行整合, 从而达到更高层的语义表征^[11,12]。研究者通过对语义加工任务的 meta 分析, 提出左侧颞叶至额叶语义通达的信息传递模型。该模型认为颞叶至额叶的语义通达存在两条通路: 颞叶背侧的通路涉及角回、颞上回后部、颞中回中部、颞上回前部, 最后至额下回腹侧; 另外一条为颞叶腹侧的通路, 涉及角回、颞中下后部、梭状回、颞中回前部及颞极, 最后信息传至额下回腹侧。左侧颞中回在这两条通路中都起着重要的语义加工作用^[13]。

本研究显示颞中回表现出汉语亚词汇的频率效应, 提示颞中回激活可能更多体现亚词汇信息在此处的重复出现及累积, 即颞中回是亚词汇信息的存储词典, 高频的亚词汇在颞中回的累积次数越多, 其激活越明显。此外, 颞中回与语义词典加工关系密切, 也提示颞中回语义词典加工本质上是对频率加工的反应。

总之, 本研究结果显示左侧颞中回在汉语亚词汇加工存在高低频的分离, 而且这种效应对今后失语患者的临床诊断与康复研究将具有重要价值, 是未来临床研究的方向。

参考文献:

- [1] Tan LH, Laird AR, Li K, et al. Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: a meta-analysis [J]. Hum Brain Mapp, 2005, 25(1): 83-91.
- [2] Siok WT, Niu Z, Jin Z, et al. A structural-functional basis for dyslexia in the cortex of Chinese readers [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2008, 105(14): 5561-5566.
- [3] Huang CY, Lee CY, Huang HW, et al. Number of sense effects of Chinese disyllabic compounds in the two hemispheres [J]. Brain Lang, 2011, 119(2): 99-109.
- [4] Yang J, Wang X, Shu H, et al. Brain networks associated with sublexical properties of Chinese characters [J]. Brain Lang, 2011, 119(2): 68-79.
- [5] Wu Y, Mo D, Tsang YK, et al. ERPs reveal sub-lexical processing in Chinese character recognition [J]. Neurosci Lett, 2012, 514(2): 164-168.
- [6] Zhou L, Peng G, Zheng HY, et al. Sub-lexical phonological and semantic processing of semantic radicals: a primed naming study [J]. Reading and Writing, 2013, 26(6): 967-989.
- [7] Kuo W, Yeh T, Lee J, et al. Orthographic and phonological processing of Chinese characters: an fMRI study [J]. Neuroimage, 2004, 21(4): 1721-1731.
- [8] Han ZZ, Bi YC, Shu H, et al. The interaction between semantic and sublexical routes in reading: converging evidence from Chinese [J]. Neuropsychologia, 2007, 45(12): 2660-2673.
- [9] Zhao J, Li QL, Wang JJ, et al. Neural basis of phonological processing in second language reading: an fMRI study of Chinese regularity effect [J]. NeuroImage, 2012, 60(1): 419-425.
- [10] Booth JR, Burman DD, Meyer JR, et al. Development of brain mechanisms for processing orthographic and phonologic representations [J]. J Cogn Neurosci, 2004, 16(7): 1234-1249.
- [11] Fiebach CJ, Friederici AD, Müller et al. fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition [J]. J Cogn Neurosci, 2002, 14(1): 11-23.
- [12] Seghier ML, Lazeryras F, Pegna AJ, et al. Variability of fMRI activation during a phonological and semantic language task in healthy subjects [J]. Hum Brain Mapp, 2004, 23(3): 140-155.
- [13] Vigneau M, Beaucois V, Herve PY, et al. Meta-analyzing left hemisphere language areas: Phonology, semantics, and sentence processing [J]. Neuroimage, 2006, 30(4): 1414-1432.
- [14] Richlan F, Sturm D, Schurz M, et al. A common left occipito-temporal dysfunction in developmental dyslexia and acquired letter-by-letter reading? [J]. PLoS One, 2010, 5(8): e12073.

(收稿日期: 2013-04-01)