

Different roles of the left inferior prefrontal cortex in visual Chinese word recognition

YANG Ling-yun^{1,2}, XIAO Zhuang-wei¹, LIU Xi-rui³, WENG Xu-chu⁴, ZHANG Xue-xin^{1,5*}

(1. Guangdong Key Laboratory of Medical Molecular Imaging, Shantou 515041, China; 2. Institute of Higher Education, Shantou University, Shantou 515063, China; 3. Shantou University Medical College, Shantou 515043, China; 4. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 5. Department of Psychology, University of Hong Kong, China)

[Abstract] Objective To contrast the neural substrate of lexical processing of Chinese real words and pseudowords using event-related functional magnetic resonance imaging (fMRI). **Methods** Fourteen university students were instructed to perform a visual lexical decision task while being scanned with a 1.5 T MRI scanner with a list of randomly intermixed real and pseudo Chinese two-character (or two-syllable) words. **Results** Processing of real words and pseudowords activated a highly comparable neural network, including bilateral inferior frontal gyrus (IFG), middle temporal gyrus, fusiform gyrus, lingual gyrus, supramarginal gyrus, and thalamus. However, left inferior frontal gyrus (BA 44/45) was significantly more activated in pseudo word processing than in real word processing. **Conclusion** This result supports that the left IFG maybe related with the phonological information storage, behavior chosen or attention modulation.

[Key words] Visual lexical decision; Inferior frontal gyrus; Pseudowords; Chinese; Magnetic resonance imaging, functional

左侧额下回在汉字真假词视觉加工中的不同效应

杨凌云^{1,2}, 肖壮伟¹, 刘西瑞³, 翁旭初⁴, 张学新^{1,5*}

(1. 广东省医学分子影像重点实验室, 广东 汕头 515041; 2. 汕头大学高等教育研究所, 广东 汕头 515063; 3. 汕头大学医学院, 广东 汕头 515043; 4. 中国科学院心理研究所, 北京 100101; 5. 香港大学心理系)

[摘要] 目的 利用事件相关功能磁共振成像(functional MRI)技术比较中文双字真词与假词的认知加工的脑机制。方法 14名大学生在MR扫描过程中执行词汇判断任务,用视觉方式随机呈现120个双字词,其中真、假词各60个。结果真、假词的判断激活了相似的包括双侧额下回,颞中回,梭状回和舌回,双侧缘上回,丘脑等区域。其中,左侧额下回(BA44/45区)在假词条件下的激活强度显著高于真词。结论 左侧额下回可能与语音存贮、行为选择或调控注意有关。

[关键词] 视觉词汇判断; 额下回; 假词; 汉语; 磁共振成像,功能性

[中图分类号] R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2006)06-0833-03

左侧额下回(IFG)在真假词视觉加工中的作用一直存有争议^[1-4]。本研究以汉语双字真词和假词为材料,观察在形音转换机制不存在^[5,6]的情况下左额下回是否仍对真假词具有不同的效应。

1 资料与方法

[基金项目] 本研究受广东省自然科学基金面上项目(20010434)、国家自然科学基金面上项目青年科学基金(30200068)、国家自然科学基金重大国际合作项目(30420120048)和国家自然科学基金面上项目(30570606)资助。

[作者简介] 杨凌云(1982-),女,江西吉安人,在读硕士。研究方向:汉字加工的脑成像研究。E-mail: ylingy@gmail.com

[通讯作者] 张学新,广东省医学分子影像重点实验室,515041。

E-mail: jxzhang@hku.hk

[收稿日期] 2006-01-15 **[修回日期]** 2006-05-28

1.1 被试 14名右利手汕头大学学生(男女各7人)参加了该实验,年龄21~25岁,平均年龄为22.7岁,母语均为汉语,视力或矫正视力正常。所有被试在实验前皆已签署了知情同意书。

1.2 实验设计 实验设计采用的是快速的、间隔随机化的(fast random-interval)事件相关设计。刺激程序用Inquisit软件(来自于Millisecond Inc.)编程控制,视觉刺激通过磁共振环境下的专用眼镜(Resonance Technology Company Inc., Los Angeles, USA)呈现,要求被试完成视觉词汇判断任务。

实验材料共240个,其中真词120个,选自《现代汉语词典》(1986年),平均词频为11.81/百万(标准差=2.95);假词120个,由一个真词中的第一个汉字和另一个真词中的第二个汉字重新组合而成,并保证重新组合后不会组成另一个真词。在这些材料中,一半用于编号为偶数的实验被试者的测

验;另外一半用于编号为奇数的实验被试者的测验。这用来减少实验材料本身可能有偏向而造成的误差。其中,用作练习的真、假词分别为 12 个;余下的 48 个用于正式视觉词汇判断;每个词在每个被试者实验之中只出现一次。

每个被试者完成 5 个回波平面成像(EPI)扫描序列。其中第一个序列包括 24 个练习测试,真、假词各 12 个。在后期数据处理中,这些练习没有计入。接下来的 4 个序列为正式实验。实验要求被试者既快速又准确地判断所看到的双字词是真词还是假词,按键输出他们的反应,并记录其反应时和正确率。每个正式实验的序列包括 24 个测试,“真”、“假”词各 12 个,按随机顺序呈现。各次测试可能的时间间隔(inter-trial-interval)为 6、8、10、12、14 s,这些间隔在测试之间随机选择,但每个实验序列的时间总共为 240 s。每两个序列之间有一段 30 s 的休息时间。在这期间,要求被试注视屏幕中间的“十”字注视点。实验中,使用眼动追踪仪对被试者的眼动进行实时观测,以确认被试者保持两眼注视屏幕。

1.3 图像采集 实验在汕头大学医学院第一附属医院使用配有标准头部线圈的 1.5 T Philips 磁共振扫描仪完成。被试者的头部与线圈之间的空隙用泡沫填塞以防止实验过程中的头动。正式 fMRI 实验前,通过练习使参加者熟悉实验的程序,减少由于初次实验可能存在的焦虑情绪对实验造成的影响。功能像扫描采用 T2WI 梯度回波-快速回波平面成像 (gradient-echo EPI) 序列,轴面 20 层,覆盖全脑;TR 2000 ms, TE 45 ms,偏转角度 (flip angle) 90°,矩阵 64 × 64,采集视野 (FOV) 230 cm × 230 cm,层厚 6 mm,无层间距。共面解剖像采用 T1W 自旋回波序列 (TR 204 ms, TE 14 ms)。另外,我们也采集了高对比、高分辨率的 3D 像,用于图像叠加。

1.4 数据处理 被试的行为学正确率和反应时均使用配对 *t* 检验进行了统计分析。其中,只采用了正确测试的反应时。

所有 MRI 数据都是用 SPM2 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London) 软件进行处理的。首先,将每位被试者的各层功能像进行重新排序,同时与共面解剖像对准;按 SPM 标准模板对 T1 图像进行标准化,将所生成的矩阵应用于已与共面解剖像对准的功能像;再将功能像内插成 4 mm 的各向同性体素中,用 8 mm (FWHM) 的高斯滤镜进行空间平滑,然后采用广义线性模型对标准化后的功能像进行回归分析^[7]。构建三组线性对照,分别为:假词与“休息状态”的对照,真词与“休息状态”的对照,假词与真词的对照。

运用单样本 *t* 检验 (自由度为 14 ~ 1), 将所得的对照估量值代入 SPM 标准的二级分析公式,将被试变量当成随机效应处理;在生成 *t* 值图过程中,将依照体素 (voxel-wise) 的强度阈值 ($P < 0.005$, 未经矫正) 与空间范围阈值 (簇的体积大于 20 个体素) 相结合以对控制多重比较^[8,9]。

2 结果

2.1 行为结果 被试所有正式测试的平均正确率和平均反应时分别为 96.2% 和 636 ms。配对 *t* 检验结果显示:判断假词的反应时明显长于判断真词的反应时 (真词:696 ms,假词:590 ms; $P < 0.001$),但在正确率上两者无显著差异 (真词:96.6%,假词:95.8%; $P > 0.5$)。

2.2 脑成像结果 与休息状态相比,真词刺激和假词刺激都唤起了相当多的脑区激活,包括双侧额上、中、下回,双侧中央前沟,左侧中央后沟,辅助运动区皮层,双侧小脑,中、前扣带回右侧,双侧脑岛,海马,双侧颞上、中、下回,双侧缘上回,左侧顶上、下叶,双侧枕中、下叶及右侧枕上叶,双侧矩状沟、舌回,梭状回,苍白球以及一些皮层下区域,即双侧丘脑、左侧尾状核、双侧壳核。

与休息状态相比,所有脑区在真词刺激下都显示了活跃的激活;而在假词刺激下,双侧颞中回皮层,中、后扣带回,左楔叶等区域都显示了抑制效应,即激活程度比休息状态下更低。如图 1 所示,双侧额下回 (BA44、BA45) 对假词的反应要明显强于其对真词的反应,辅助运动区、中扣带回、梭状回区也有相同的趋势。相应的脑区的 Talairach 坐标见表 1。

表 1 真词与假词统计对比中所显示的脑区反应信息

条件	激活位置	左/右	Brodmann 脑区	Talairach 坐标 (mm)			Z 统计值
				X	Y	Z	
假词-真词	额下回	左	47	-37	31	-11	4.20
		右	44,45	-54	20	16	4.14
	中扣带回 梭状回	右	47	37	25	-10	3.54
		-	44,45	49	8	25	3.53
		左	6,24,32	0	12	42	3.91
真词-假词	额中回,前扣带回	-	10,32	0	47	-2	3.95
		左	10	-19	57	11	3.86
	额上回	左	9,46	-27	35	31	5.22
		左	22,39,40	-53	-56	30	4.20
	后扣带回,楔前叶	右	22	60	-50	25	3.28
		左	7,23	-5	-51	29	4.87

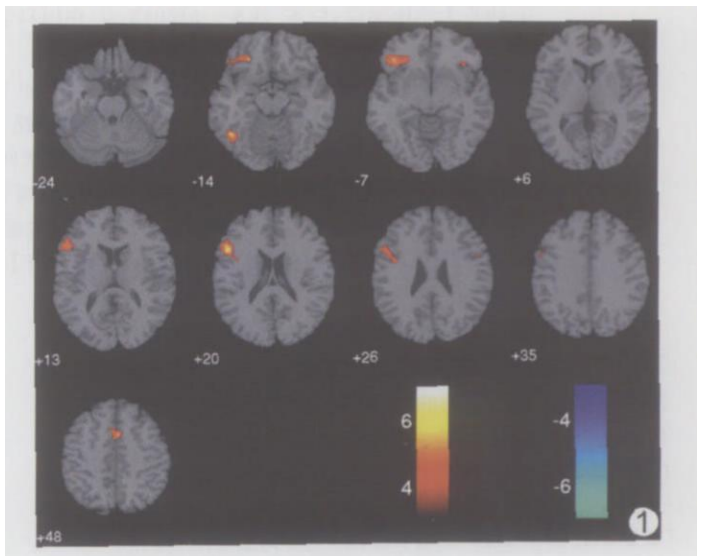


图 1 假词刺激减去真词刺激的脑激活状态轴状 *t* 值图 ($P < 0.005$, 最少 20 个相邻体素):这些 *t* 激活图像都覆盖在标准的 SPM 脑解剖模板上,按神经学惯例,左是左,右是右。Z 值标明在 Talairach 空间中每个扫描层面的 Z 坐标。彩色条码标记 *P* 值的高低

3 讨论

行为实验结果表明,被试可以很好地完成任务,但对假词

的否定判别比真词的肯定判别需要较长的反应时间,表明假词比真词需要更多的认知加工过程。这与以往词汇判断研究中的结果相一致^[10]。

脑成像实验结果发现,两种刺激所引起的脑的激活模式可比性非常强。假词和真词刺激均引起了双侧枕叶以及梭状回、舌回等视觉皮层的反应,这与所预料的本研究视觉刺激任务将会引起的反应相符。辅助运动皮层、中央沟、扣带回、以及一些皮层下组织如小脑、尾状核等的激活很可能反映了动作反应的构建与执行。丘脑是大脑皮层布洛卡区和韦尔尼克区之间进行言语处理的中间站,它的激活反映出其调节传入大脑皮层的信息,影响言语活动这一功能。其他区域如颞中回、额下回和缘上回等都位于语言相关区域,这些区域在语言加工中的作用在以往脑成像研究的相关文献中都已有很好的阐明^[11-13]。所有由假词所引起的激活区,海马旁回除外,在真词刺激下同样呈激活状态。在对“真”、“假”词两种刺激所引起的激活区做直接对比时,发现对两种刺激均有反应的交叠区域相当大,这说明了这些区域对真词和假词的反应无论在激活位置、激活程度、还是激活的空间范围上都是非常相似的。对两种刺激有不同的反应的区域(详见下文的讨论),其不同之处也只是在于反应的程度上。这些结果再次证明并进一步支持了以往词汇判断研究中的一个普遍的结论:大致相同的脑皮层神经网络参与了“真”、“假”词加工^[3,4]。

本研究的主要发现在于,相对于基线状态,虽然左额下回(BA44/45, Broca 区)和双侧辅助运动区对假词刺激和真词刺激均有反应,但对假词的反应要明显强于对真词的反应。这一结果表明,虽然大致相同的神经网络在假词刺激和真词刺激中激活,但是,假词在大脑的处理中需要更多的资源。这也与行为学结果一致,对假词的处理,需要更长的时间。虽然我们使用的是中文双字词,但与以拼音文字为材料的视觉词汇判断研究^[3,4]的结果一致,我们同样发现了 BA44/45 区对假词的激活程度显著高于真词。然而,中文不是拼音文字,由字形不能直接提取字的读音,即没有拼音文字中的形-音转换机制^[5,6],所以我们所发现的左额下回的较强激活不能够被归结为形-音转换过程^[3,4]。

对此,我们认为对于这一结果的出现存在着几种可能的原因:真词具有对应的语义联系,而假词没有。被试借助语音将假词存储在短时记忆中,BA44/45 区的激活表现了假词加工对语音存储功能更多的利用^[14]。真词要求被试做出肯定的反应,而假词则要求做出否定的反应。被试做出否定反应要比做出肯定反应要更加费力^[15]。BA44/45 区的激活表现了一般决断过程的差异性,尤其是做肯定与否定反应的不同。真词对于被试来说是一种熟悉的刺激,而假词则是一种新异刺激。新异刺激的出现往往导致注意力的增加、控制的增多。BA44/45 区的激活也可能反映的是注意力的维持、更多的智力资源投入。

4 小结

4.1 真词和假词的加工过程激活了可比性非常强的脑皮层神经网络,包括双侧额下回,颞中回,梭状回和舌回,双侧缘上回等。这再次印证了相关脑区参与词汇判断任务。

4.2 左额下回对假词的反应要强于其对真词的反应,这和行为学的结果一致,假词需要更多的处理。该结果反映了此区域很可能与语音存储、行为选择或调控注意有关。至于这些功能是否存在语言特异性,则有待于更深入的研究来求证。

[参考文献]

- [1] Mechelli A, Gorno Tempini ML, Price CJ. Neuroimaging studies of word and pseudoword reading: consistencies, inconsistencies, and limitations[J]. *J Cogn Neurosci*, 2003, 15(2): 260-271.
- [2] Binder JR, McKiernan KA, Parsons ME, et al. Neural correlates of lexical access during visual word recognition[J]. *J Cogn Neurosci*, 2003, 15(3): 372-393.
- [3] Simos PG, Breier JJ, Fletcher JM, et al. Brain mechanisms for reading words and pseudowords: an integrated approach[J]. *Cereb Cortex*, 2002, 12(3): 297-305.
- [4] Hagoort P, Indefrey P, Brown C, et al. The neural circuitry involved in the reading of German words and pseudowords: A PET study[J]. *J Cogn Neurosci*, 1999, 11(4): 383-398.
- [5] Plaut D, McClelland J, Seidenberg M, et al. Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains[J]. *Psych Rev*, 1996, 103(1): 56-115.
- [6] Tan LH, Perfetti CA. Phonological codes as early sources of constraint in Chinese word identification: A review of current discoveries and theoretical accounts[J]. *Read Writ*, 1998, 10(3-5): 165-200.
- [7] Friston KJ, Holmes AP, Poline JB, et al. Analysis of fMRI time-series revisited[J]. *Neuroimage*, 1995, 2(1): 45-53.
- [8] Forman SD, Cohen JD, Fitzgerald M, et al. Improved assessment of significant activation in functional magnetic resonance imaging (fMRI): use of a cluster-size threshold[J]. *Magnetic Resonance in Medicine*, 1995, 33(5): 636-647.
- [9] Poline JB, Worsley KJ, Evans AC, et al. Combining spatial extent and peak intensity to test for activations in functional imaging[J]. *Neuroimage*, 1997, 5(2): 83-96.
- [10] Ratcliff R, Gomez P, McKoon G. A diffusion model account of the lexical decision task[J]. *Psychological Review*, 2004, 111(1): 159-182.
- [11] Binder JR, Frost JA, Hammeke TA, et al. Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging[J]. *Journal of Neuroscience*, 1997, 17(1): 353-362.
- [12] Levelt WJ. Spoken word production: A theory of lexical access[J]. *Proc Nat Acad Sci USA*, 2001, 98(23): 13464-13471.
- [13] Poeppel D, Guillemin A, Thompson J, et al. Auditory lexical decision, categorical perception, and FM direction discrimination differentially engage left and right auditory cortex[J]. *Neuropsychologia*, 2004, 42(2): 183-200.
- [14] Xiao Z, Zhang JX, Wang X, et al. Differential activity in left inferior frontal gyrus for pseudo words and real words: an event-related fMRI study on auditory lexical decision[J]. *Hum Brain Mapp*, 2005, 25(2): 212-221.
- [15] Sternberg S. High-speed scanning in human memory[J]. *Science*, 1966, 153(3736): 652-654.