

## 汉字字形认知研究的刺激源设计及在 fMRI 研究中的应用

周 扬<sup>1</sup> 王 健<sup>1</sup> 张久权<sup>1</sup> 李传明<sup>1</sup> 谢 兵<sup>1</sup> 余琼武<sup>2</sup> 黄学全<sup>1</sup> 翁旭初<sup>3</sup>

(1 第三军医大学附属西南医院 放射科 重庆 400038; 2 第三军医大学附属西南医院 眼科 重庆 400038;

3 中国科学院心理研究所脑高级功能试验室 北京 100101)

**摘要 目的:**评估汉字字形刺激源在汉字认知 fMRI 研究中的有效性,并对参与汉字处理的脑皮层区域进行定位及初步的量化分析。**方法:**选择母语为汉语、经利手测试后为右利手且裸眼视力正常(大于等于 1.0)的在校大学生 10 例(男 6 例,女 4 例)作为被试。试验任务采用组块设计,将汉字(非字、假字、真字)投射到屏幕上,受试者接受汉字字形图片的视觉刺激,按非字-假字-真字-非字-假字-真字顺序呈现,共 6 个 block。数据处理及统计分析采用国际通用的 AFNI 软件。**结果:**左额叶上、中、下回(包括 Broca's area)、左中央前回(BA6)、左顶上小叶及顶下小叶(包括缘上回及角回)及双侧枕叶、楔前叶显著激活;左额叶梭状回(BA37)、右额下回及双侧颞中、上回及扣带回显著激活,左大脑半球的激活体积明显大于右侧大脑半球。**结论:**本研究设计的汉字字形刺激源结合功能磁共振成像技术可以对汉字处理的相关大脑皮层区域进行定位,为研究人脑加工处理汉字的神经机制提供了一种有效的无创性影像学方法,并应用 fMRI 技术进一步证实其优势半球为左半球,且需要多种脑区共同参与完成,本试验模式可望成为一种对语言障碍病人进行脑功能检查的有效手段,从而为指导临床治疗和评价预后提供更丰富的信息。

**关键词:**汉字;认知;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:**1673-6273(2007)02-0185-04

## Design of Stimulus for Chinese Character Recognition and Its Application in fMRI Study

ZHOU Yang<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>, ZHANG Jiu-quan<sup>1</sup>, LI Chuan-ming<sup>1</sup>, XIE Bing<sup>1</sup>, YU Qiong-wu<sup>2</sup>, HUANG Xue-quan<sup>1</sup>, WENG Xu-chu<sup>3</sup>

(1 Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Third Military Medical University PLA, Chongqing 400038, China;

2 Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Third Military Medical University PLA, Chongqing 400038, China;

3 Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**ABSTRACT Objective:** To investigate the validity of the stimuli about Chinese character forms in the functional localization of cerebral areas that response to Chinese characters recognition; to locate these cerebral areas and make a preliminary quantitative analysis on their properties. **Methods:** Ten healthy right-handed Chinese University Students (six males and four females) participated in the study. All participants underwent an ophthalmological examination and no abnormality was found in vision. Informed consent was obtained prior to the fMRI experiment. Block design was used in this study. The trial consisted of 6 blocks and each block lasted 32 s. There were 16 characters during every stimulus time, and every character was visually presented for 1s. The stimulation words were grouped into three types: true words, pseudo-words, and no-words. During the stimulation time, the subjects were asked to maintain fixate on the center of the screen and identify which type of the three the Chinese characters belong to. The data were analyzed by AFNI to generate brain activation maps. **Results:** The fMRI experiment indicated that the stimuli of Chinese true word activated left superior and middle frontal gyrus, inferior frontal gyrus (Broca's area), left precentral gyrus(BA6), left superior parietal lobule and inferior parietal lobule, and bilateral occipital gyrus as well as the precuneus, The left fusiform gyrus (BA37), right inferior frontal gyrus, bilateral superior and inferior temporal gyrus, and bilateral cingulate gyrus were also notably activated. It was showed that the activation volume in left hemisphere of Chinese true-word was larger than that in the right hemisphere. **Conclusions:** The findings in single character Chinese words processing associated with orthography showed that the experimental stimulus can be used to locate the cerebral areas that response to Chinese characters recognition. The experimental design combining with fMRI is a feasible and non-invasive imaging method for studying language processing in human brain. The dominant hemisphere of processing languages is in the left. This experimental pattern is expected to be an effective method that can be carried on the brain functional examination for language disorder patients, and then provides more information for the clinical treatment and evaluation of prognosis.

**Key words:** Chinese character; Recognition; Magnetic resonance imaging; Functionality

**Chinese Library Classification(CLC):**R445.2 **Document code:**A

**Article ID:** 1673-6273(2007)02-0185-04

作者简介:周扬,(1966-),男,山东郓城县人,在读硕士。

研究方向:脑功能磁共振成像。

E-mail:sydy-6668@hotmail.com

通讯作者:王健 电话:(023)68754419,13883785811, E-mail:wangjian@mail.tmmu.com.cn

(收稿日期:2006-11-20 接受日期:2006-12-18)

### 前言

阅读是人类特有的功能,而汉字具有很强的图形特征,是一种象形表意文字,在音、形、义脑加工方面的神经及其联络机制十分复杂。阐明汉字字形辨认在阅读方面的脑机制对揭示人类认知具有重要的意义。本研究应用 fMRI 技术,观察人在汉字字形刺激下的脑功能活动情况,探讨大脑的语言认知功能定位及其可能存在的神经联络机制。

### 1 材料与方法

#### 1.1 被试

母语为汉语、经 12 项利手测试后为右利手,且裸眼视力正常或矫正后正常(大于等于 1.0)的在校大学生 10 例(年龄在 19~25 岁之间,平均年龄 22.3± 1.2 岁)。无脑部及全身系统疾患。实验前填写知情同意书,告知实验过程中需要配合的注意事项;并获得中国伦理学会重庆分会的批准。

#### 1.2 MRI 扫描方法

采用 SIEMENS SONATA 1.5T 磁共振成像仪,让被试仰卧在磁共振检查床内,其枕部衬垫于硬海绵垫上,以限制头部运动,使用头部正交线圈,并让被试戴上空气传导降噪耳机使其清晰听到指导语以配合试验。首先扫定位像并使用 T1 加权的快速自旋回波(SE)脉冲序列采集解剖像,参数为:TR = 500 ms, TE = 7.7ms, flip angle = 90°, FOV = 220mm× 220mm, Matrix = 256× 256。然后采用梯度回波平面成像脉冲序列(EPI)进行功能像扫描,15 层连续轴位扫描,成像参数为:TR = 2000 ms, TE = 60 ms, FOV = 220mm× 220mm, flip angle = 90°, Matrix = 64× 64, 层厚 = 5 mm, 间距 = 1.5mm。最后采用三维磁化准备快速梯度回波(Three dimensional magnetization prepared rapid gradient echo, 3D MPRAGE)序列 T1 加权像,作矢状位连续 128 层薄层全脑扫描,以进行后续的三维重建及空间配准,参数为:TR = 1900 ms, TE = 1.95 ms, flip angle = 15°, FOV = 180 mm× 180mm, Matrix = 192× 256。

#### 1.3 试验任务及方法

试验任务采用组块设计模式,E-prime 软件编写刺激程序,由 Samrtec SA-8800fMRI 刺激系统套件(深圳美德医疗电子有限公司)呈现刺激。刺激汉字呈现在受试者的头侧,距离双眼 0.6m 的磨砂有机玻璃屏幕上,然后受试者通过注视额前方固定的反光平面镜来观察毛玻璃屏上的文字图片的字形刺激。刺激图像背景为黑色,呈现的汉字及中央注视点为白色,试验进程中,除了来自显示屏的光线外,被试所处环境中无其它光源。

文字刺激包含真字、假字及非字三个因素。真字:符合偏旁部首规则,笔画在 8-12 划之间,为常见的高频字,宋体,60 磅;假字:符合组字规则,但不能构成字的笔画的集合体;非字:不符合组字规则的笔画集合体,无意义符号,又俗称“怪符”。



真字(true word)



假字(pseudo-word)



非字(no-word)

组块设计模式如图 1,按非字-假字-真字-非字-假字-真字顺序呈现,共 6 个组块(block),每个 block 刺激状态持续 32s,在 32s 的刺激时间内共出现 16 个单字,每个字持续 1 s,并各有两个字连续重复呈现一次。刺激间隔为 20s 的控制状态,刺激呈现前后各为 20s 的静息状态,总时间持续 32s× 6+20s× 7=332s。

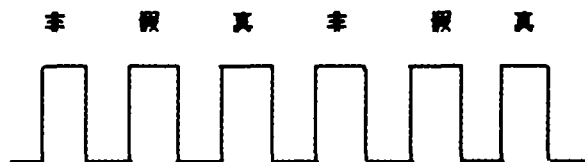


图 1 试验组块设计模式。控制状态与刺激状态,刺激状态 32 秒。 Figure 1 Diagrammatic representation of the experimental paradigm (block design). Alternating blocks of control and stimuli, each lasting 32 s presented.

#### 1.4 数据分析

采用国际上通用的 fMRI 分析软件(Analysis of functional neuroimage, AFNI)进行数据分析。经过数据采集、预处理对所得功能图像进行空间配准,以检出并修正运动伪影,然后进行 Talairach 标准化,用各向同性 Gaussian 核心法,以半高全宽(full width at half maximum, FWHM)为 5mm 对图像进行平滑处理。利用反卷积分析方法对每个受试者的功能序列数据进行分析,获得文字图片字形刺激的脑功能激活图(P≤ 0.001)。将 10 例被试的结果进行方差分析(ANOVA),把平均脑功能图像叠加到与之相应的解剖图像上,以显示不同任务刺激状态下脑活动的解剖位置,进一步对激活脑区做 ROI(region of interest)分析,采用 SPSS13.0 统计软件,对两大脑半球激活体积进行配对 t 检验,以比较两大脑半球的差异,取 p<0.05 为有统计学意义。

### 2 结果

汉字单字字形刺激的平均脑激活情况(P≤ 0.001)(图 2a、2b)。

左额叶上、中、下回(包括 Broca's 区)、左中央前回(BA6)、左顶上小叶及顶下小叶(包括缘上回及角回)及双侧枕叶、楔前叶显著激活(P≤ 0.001);左颞叶梭状回(B37)、右颞下回及双侧颞中、上回及扣带回显著激活(P≤ 0.001),左大脑半球的激活体积明显大于右侧大脑半球(P=0.03<0.05),说明存在统计学差异(表 1,图 3)。

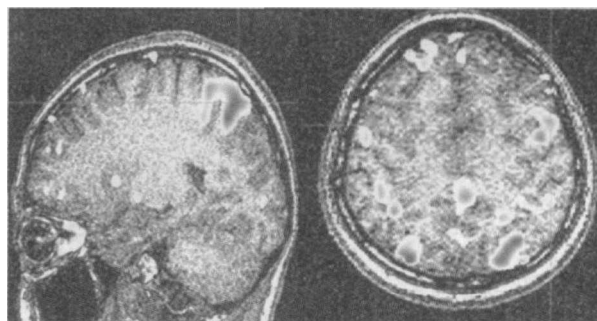


图 2a 汉字字形刺激的脑激活区域(P≤ 0.001) Figure 2a Brain activation maps for single Chinese character (P≤ 0.001)

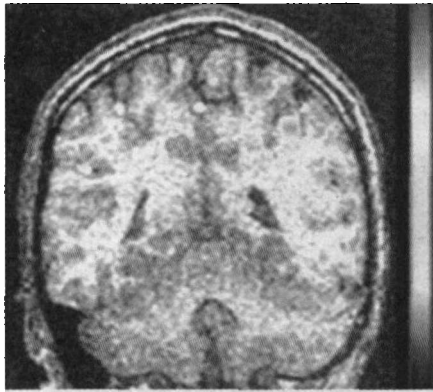


图 2b 左脑梭状回及顶下小叶( $P \leq 0.001$ )

Figure 2b the left fusiform gyrus and inferior parietal lobule( $P \leq 0.001$ )

表 1 左右大脑半球激活脑区的激活体积( $\text{mm}^3$ )

Table 1 The voxels of the activated regions in the left and right hemispheres( $\text{mm}^3$ )

激活脑区 activated regions	BA Brodmann area	左脑半球 left brain	右脑半球 right brain
额上回 Superior frontal gyrus	8	31	-
额中回 middle frontal gyrus	10	102	-
额下回 inferior frontal gyrus	45	53	22
中央前回 precentral gyrus	6	30	-
颞上回 superior temporal gyrus	22	16	7
颞中回 middle temporal gyrus	39	9	9
颞下回 inferior temporal gyrus	37	22	10
顶上小叶 superior parietal lobule	-	21	-
顶下小叶 inferior parietal lobule	-	15	11
枕叶 occipital lobe	18	819	632
后扣带回 posterior cingulate	-	23	38

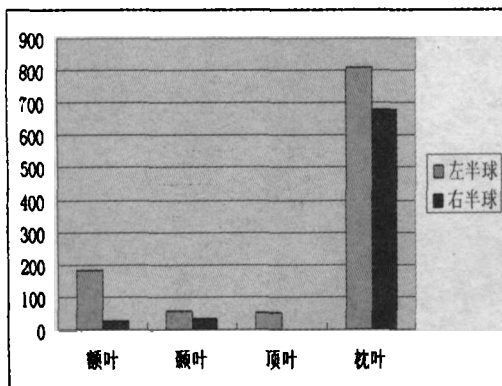


图 3 左右半球激活体积的比较( $P=0.03$ ,明显的左侧半球优势)。

Figure 3 Comparison of the activated voxels between the left and right cerebral hemisphere( $P=0.03$ , the activations are left lateralized).

### 3 讨论

本实验设计的汉字字形刺激源有效激活了重要的语言功能区:Broca 区、左侧顶叶、Wernicke 区、双侧额叶及颞中回、颞下回,而非语言功能区激活极少,因此本刺激源结合 6 个组块、时程为 5' 32" 的实验模式,具有较高的检测效力及有效性。假字及非字只引起极少的点状激活,无显著统计学意义发现,分析原因可能为采用组块设计所致,相对于事件相关设计来说注意水平可能由于刺激类别搞混,即假字或非字可能引发更高的注意水平而引起少许激活。因此,本试验设计的字形刺激源在汉字认知的 fMRI 研究中是有效的。

#### 3.1 汉字加工处理的大脑偏侧性

汉语是中国语言文化的特色,汉字是表义文字,是形体(形)、语音(音)、语义(义)的统一体,不仅视觉一拼写处理被激活,语音和语义处理系统也很快被激活<sup>[1-3]</sup>。左侧大脑半球通常参与逻辑分析、语音和语义的处理;而右侧大脑半球则以视觉空间的处理为主,因此,进行汉字处理时,在两侧大脑皮层有很大范围的神经活动区域。本研究从汉字字形的视觉辨认方面所研究的脑加工机制的初步结果看,也支持其优势半球为左侧半球,额叶在汉字字形的加工处理中起到重要作用,尤其是左侧额中叶较大范围被激活(见表 1)。分析其机理,考虑主要是因为汉字具有更强的图形特征,是一种象形表意文字,在音、形、义的脑加工机制方面与西方字母语言均有很大不同<sup>[4]</sup>。而既往研究发现西方字母语言的产生主要在左侧额中、下回(BA46 区),左侧颞下回在处理词汇、词义方面也起到重要作用。

#### 3.2 汉字字形辨认的 fMRI 机制

本研究结果表明,在经典语言区激活外,还能观察到右侧颞下回、左侧额中回、左侧顶下小叶及顶上小叶等一些与汉字加工特异性功能联系紧密的区域,这些结果与传统理论观点基本一致<sup>[5-8]</sup>。同时也可见,左中央前回(BA6)、右额下回及双侧枕叶(BA18、19)显示激活,这些区域都参与了汉字字形的加工处理,与 Fiez 和 Petersen 等<sup>[5,7,9]</sup>的研究结果大体一致,额叶尤其是额中叶可能为汉字加工记忆和执行控制的单元中心<sup>[10]</sup>。左顶上小叶及顶下小叶(包括角回和缘上回)的激活与顶叶的空间感知功能有关,左角回的激活与汉字语义的提取有关,另外,左侧颞下回、左侧顶下小叶及其角回在精确的数学计算方面也起重要作用<sup>[11]</sup>。

左脑梭状回即视觉文字形状区(The visual word form area, VWFA)的激活机制为:负责提取并储存抽象的文字形状。本实验在汉字重复出现时激活信号减弱,说明当处理视觉物体的时候,若再次遇到同样的形状,则可以作为认知单位来进行加工处理<sup>[12]</sup>。McCandliss 及其同事<sup>[13]</sup>认为左侧梭状回中部的文字形状区域(VWFA)是专门司职于文字视觉方面的处理的,而 Price 和 Devlin<sup>[14]</sup>则提出 VWFA 区不仅能由视觉文字刺激激活,还可以被像命名颜色、命名图片、重复听到的词语及盲人点字法等刺激任务所激活。因此 VWFA 区有更复杂的功能及其神经机制。

Wernicke 区或称后说话区 本次实验该区明显激活,但激活体积明显小于前语言回(Broca's area),此结果说明了讲象形

文字汉字的中国人其语言功能区以前语言区为主导,这与传统观点:后部的 Wernicke 区主导语言功能,而前部的 Broca 区一般来说很少用的观点不同,而与 Xue G 等<sup>[19]</sup>新近的研究结论大致相似,即讲中文的人其语言功能区—Broca 区位置要高一些,更接近大脑的运动功能区,平时主导语言功能的主要是前部的 Broca 区,后部的 Wernicke 语言区平时几乎用不到,因此功能极弱。对汉字词语的研究中也曾出现此区的激活<sup>[16-17]</sup>,Wernicke 区在汉字加工处理方面的功能非常复杂,尚待进一步深入探讨。

双侧扣带回及右侧颞中回发现激活,但是这些区域在词语加工处理中的作用却缺乏深入的解释,本研究在试验中未采集小脑区域的数据,这些脑区在汉字词语处理中的具体作用还有待进一步深入研究。

#### 4 结论

本研究中汉字字形刺激明显激活了语言功能区 Brock 区、Wernicke 区及与汉字加工特异性功能联系紧密的区域,同时左侧颞叶腹侧皮层及双侧枕叶纹外视区也明显激活,证实了本研究设计的汉字字形刺激源结合功能磁共振成像技术可以对汉字处理的相关大脑皮层区域进行定位,为研究人脑加工处理汉字的神经机制提供了一种有效的无创性影像学方法,同时也进一步在 fMRI 技术上证实了其优势半球为左半球,且多个脑区共同参与完成了汉字识别和认知过程。本试验模式可望成为一种对语言障碍病人进行脑功能检查的有效手段,从而为指导临床治疗和评价预后提供更丰富的信息。

#### 参考文献(References)

- [1] LIU LI, PENG DANLING, DING GUOSHENG, et al. Dissociation in the neural basis underlying Chinese tone and vowel production [J]. *NeuroImage*, 2006, 29(2): 515-523
- [2] WEEKES BS, CHEN MJ, LIN YB. Differential effects of phonological priming on Chinese character recognition [J]. *Reading Writing*, 1998, 10 (325): 201-222
- [3] ZIEGLER JOHANNES C, TAN LIHAI, PENY CONRAD, et al. Phonology matters: the phonological frequency effect in written Chinese [J]. *Psychol Sci*, 2000, 11(3): 234-238
- [4] CHEE MICHAEL.W.L, TAN EDSSEL W.L, THIEL THORSTEN. Mandarin and English single word Processing studied with functional magnetic resonance imaging [J]. *J.Neurosci*, 1999, 19(8): 3050-3056
- [5] FIEZ JULIE A, BALOTA DAVID A, RAICHLIE MARCUS E, et al. Effects of lexicality, frequency and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading [J]. *Neuron*, 1999, 24 (1): 205-218
- [6] LEE CHIAYING, TSAI JIELI, KUO WENJUI, et al. Neuronal correlates of consistency and frequency effects on Chinese character naming: an event-related fMRI study [J]. *NeuroImage*, 2004, 23 (4): 1235-1245
- [7] PETERSEN SE, FOX PT, POSNER MI, et al. Positron emission tomographic studies of cortical anatomy of single-word processing [J]. *Nature*, 1988, 331 (6157): 585-589
- [8] FU SHIMIN, CHEN YIPING, SMITH STEPHEN, et al. Effects of word form on brain processing of written Chinese [J]. *NeuroImage*, 2002, 17(3): 1538-1548
- [9] FIEZ JULIE A, TRANEL D, SEAGER-FRERICHS D, et al. Specific reading and phonological processing deficits are associated with damage to the left frontal operculum [J]. *Cortex*, 2006, 42(4): 624-643
- [10] TAN LIHAI, SPINKS JOHN A, FENG CM, et al. Neural system of second language reading are shaped by native language [J]. *Human Brain Mapp*, 2003, 18 (3): 158-166
- [11] VENKATRAMAN V, SIONG SC, Chee MW, et al. Effect of language switching on arithmetic: a bilingual fMRI study [J]. *J Cogn Neurosci*, 2006, 18(1): 64-74
- [12] KRONBICHLER MARTIN, HUTZLER FLORIAN, WIMMER HEINZ, et al. The visual word form area and the frequency with which words are encountered: evidence from a parametric fMRI study [J]. *NeuroImage*, 2004, 21(3): 946-953
- [13] MCCANDLISS BRUCE D, COHEN LAURENT, DEHAENE STANISLAS. The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus [J]. *Trends Cogn Sci*, 2003, 7(7): 293-299
- [14] PRICE CJ, DEVLIN JT. The myth of the visual word form area [J]. *NeuroImage*, 2003, 19(3): 473-481
- [15] XUE GUI, DONG QI, JIN ZHEN, et al. An fMRI study with semantic access in low proficiency second language learners [J]. *NeuroReport*, 2004, 15(5): 791-796
- [16] ELLIS AW, YOUNG AW, ANDERSON C. Modes of word recognition in the left and right cerebral hemisphere [J]. *Brain Lang*, 1988, 35 (2): 254-273
- [17] TAN LIHAI, SPINKS JOHN A, GAO JIAHONG, et al. Brain activation in the processing of Chinese characters and words: A functional MRI study [J]. *Hum Brain Mapp*, 2000, 10 (1): 16-2