

Activation patterns in reading semi-regular Chinese characters processing: the impact of tone

WANG Xiao-yi¹, MA Li-fei¹, YU Wei², TAN Xiang-jie¹, ZHANG Zhao-qi², WENG Xu-chu^{1*}

(1. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital University of Medical Sciences, Beijing 100029, China)

[Abstract] Objective To investigate activation patterns of Chinese character tone processing by using functional magnetic resonance imaging (fMRI). **Methods** Thirteen participants were asked to name visually presented Chinese characters and reaction time for each stimulus was recorded. According to the consistency of the pronunciation and tone between phonetic radicals and whole characters, the stimulation materials were grouped into four types: pronunciation same tone same character, pronunciation same tone difference character, pronunciation difference tone same character and pronunciation difference tone difference character. There were 20 characters for each stimulus type. **Results** The fMRI experiment indicated that all four types of stimuli activated bilateral middle frontal gyrus, inferior frontal gyrus, premotor cortex, supplementary motor area, superior temporal gyrus and left fusiform. A few regions, such as medial frontal gyrus and middle temporal gyrus, were activated in only some types of stimuli. There were differences in brain lateralization across four different conditions. This experiment also characterized the activation patterns in right superior temporal gyrus, bilateral inferior frontal gyrus, and other regions. **Conclusion** The finding of semi-regularity effect in Chinese characters processing associated with tone processing suggests that the impact of tone on process should take into account.

[Key words] Tone; Semi-regulation effect; Magnetic resonance imaging, functional

阅读半规则汉字时的脑激活模式: 声调的作用

王晓怡¹, 马力飞¹, 于薇², 谭向杰¹, 张兆琪², 翁旭初^{1*}

(1. 中国科学院心理研究所脑高级功能实验室, 北京 100101;

2. 首都医科大学附属安贞医院放射科, 北京 100029)

[摘要] 目的 引入声调因素, 运用功能磁共振成像技术进一步研究汉字规则性效应的脑激活模式。方法 13 名被试在磁共振扫描过程中执行视觉方式呈现的汉字出声阅读任务, 根据形声字声旁与整字间读音及声调相同与否, 将刺激材料细分为同音同调字、同音异调字、异音同调字和异音异调字, 每类 20 字。结果 四种条件均激活双侧额中回、额下回、前运动区及辅助运动区、左侧顶下小叶、双侧颞上回、双侧岛叶和右侧小脑, 同时还各自激活了梭状回、颞中回、左内侧额叶等区域。另外, 本实验还观察到这四种条件在右侧颞上回、双侧额下回等区域激活模式的特征性变化。结论 存在汉字加工的半规则效应, 声调的作用不应忽略。

[关键词] 声调; 半规则效应; 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(2005)09-1342-03

已有的心理语言学研究表明, 声旁对汉字形声字的发音有重要影响。比如, 汉字形声字的读音存在明显的规则效应, 即不规则汉字(声旁与整字读音不一致)的命名反应要比规则

字(声旁与整字读音一致)慢, 其脑激活模式也各不相同^[1,2]。但以往的研究或把读音与声调混淆, 或只选用声旁与整字同音同调(完全规则)和异音异调(完全不规则)的刺激材料, 由此得出的规则性效应并不完整。另一方面, 声调在语言认知过程中的作用及其脑机制已成为研究热点^[3-10]。

为此, 本研究引入声调这个因素。根据汉字声旁与整字的读音及声调是否一致, 将汉字分为完全规则字(同音同调字)、半规则字(同音异调字和异音同调字)及完全不规则字(异音异调字), 以便更全面地考察汉字加工的规则性效应, 并为进而探讨汉字加工中形音转换的脑机制提供实验数据。

[基金项目] 本研究得到国家杰出青年基金资助(30425008)。

[作者简介] 王晓怡(1978-), 男, 山东荣成人, 在读硕士。研究方向: 汉字认知加工的功能磁共振成像研究。E-mail: wangxy@psych.ac.cn

[通讯作者] 翁旭初, 中国科学院心理研究所脑高级功能实验室, 100101。E-mail: wengxc@psych.ac.cn

[收稿日期] 2005-06-13 **[修回日期]** 2005-08-10

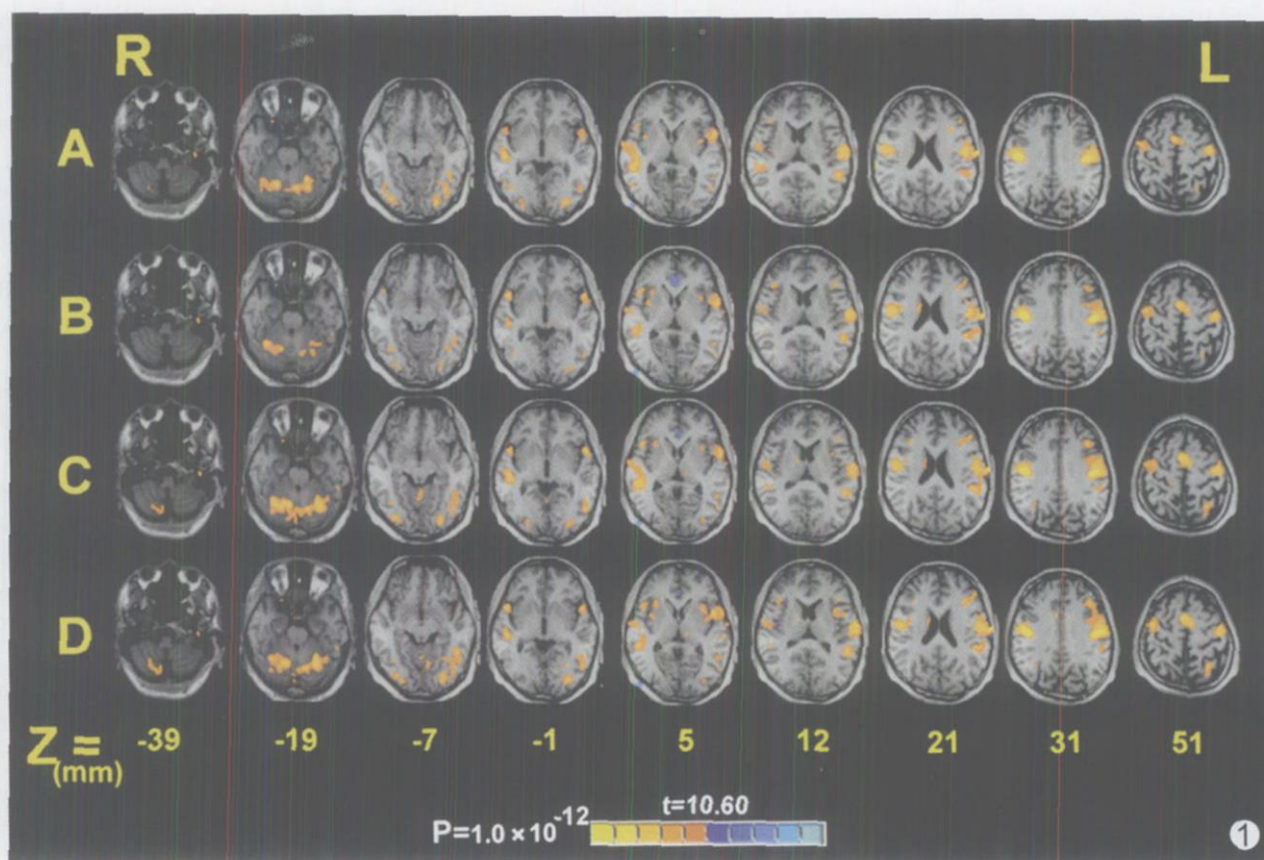


图 1 四种不同刺激材料引起的脑激活。域值为 $P < 1.0 \times 10^{-12}$, 对应的 t 值为 10.60。红黄颜色区域表示正激活(相对基线), 蓝色区域表示负激活 A. 同音同调; B. 同音异调; C. 异音同调; D. 异音异调

1 资料与方法

1.1 被试 13 名非语言及其相关专业在校大学生(年龄在 19~26 岁之间, 平均年龄 22.4 岁, 其中 6 名女性), 均为右利手, 视力正常或矫正正常, 无脑损伤病史。被试者均为北方人, 经普通话标准测试证明其均普通话流利, 且发音标准。磁共振实验前要求签署知情同意书, 实验后给少量报酬。

1.2 材料与任务 成像实验选用低频左形右声字, 共 4 类, 每类 20 字。另选 20 字作为声调测试及练习。将正式材料平均分配到两个扫描序列中, 频率、笔画数、字形及可想象度相匹配。呈现汉字及注视点为白色, 宋体, 60 磅, 黑色背景。每个汉字刺激呈现 500 ms, 采用快速事件相关设计(Fast Event-Related Design), 刺激与刺激之间的间隔随机化, 平均间隔 6 s, 最短间隔 2 s, 最长间隔 14 s, 要求被试快速而准确地大声读出所呈现的汉字。刺激序列由 Eprime 软件编写。

1.3 图像采集 采用 Siemens Sonata 1.5 T 磁共振仪进行图像采集。功能像扫描采用 T_2^* 加权的梯度回波-回波平面成像脉冲序列(EPI), 20 层连续轴位扫描, 覆盖全脑。成像参数为: TR=2000 ms, TE=60 ms, FOV=220 mm \times 220 mm, flip angle=90°, Matrix=64 \times 64, 层厚=5 mm, 间距=1.5 mm。使用 T_1 加权的快速旋转回波(SE) 脉冲序列(TR=447 ms, TE=15 ms, flip angle=90°, FOV=220 \times 220, Matrix=256 \times 256) 采集解剖像。扫描位置与功能像相同。采用快速低角度

射频脉冲序列(FLASH) 进行无间隔三维全脑扫描(TR=30 ms, TE=1.17 ms, flip angle=35°, FOV=325 mm \times 325 mm, Matrix=192 \times 256, 矢状位, 128 层)。

实验过程中, 被试仰卧在磁共振扫描仪里, 带上磁共振环境下专用的降噪耳机(Resonance Technology Company, Inc., Los Angeles)。被试的枕部衬垫硬海绵垫, 以限制其头部运动。

1.4 数据分析 首先构建磁场扰动引起的伪影特征模型, 再利用反卷积运算计算每个体素的冲击响应函数, 然后采用多重回归分析计算发声任务所激活的体素, 但把刚体运动参数及磁场扰动引起的伪影特征模型都作为无关回归因子, 并同时从系统反应中剔除。发声伪影及激活区定位方法详见参考文献[1, 2]。最后, 对四种条件的反应强度(冲击响应函数)进行混合模型的 ANOVA 分析。

2 结果

如图 1 所示, 四类字均激活双侧额中回、双侧额下回、双侧前运动区及辅助运动区、左侧顶下小叶、双侧颞上回、双侧岛叶和右侧小脑。

除此之外, 同音同调字还激活双侧颞中回、双侧梭状回和双侧舌回; 同音异调字激活左侧颞中回、双侧梭状回和左内侧额叶; 异音同调字激活双侧颞中回、左侧顶上小叶、双侧角回、左侧梭状回和左内侧额叶; 异音异调字激活左侧颞中回、左侧

顶上小叶、双侧角回、左侧梭状回、双侧额内侧回及左侧舌回。

四种任务虽然在左右脑都有激活,但激活模式也不尽相同,这种现象在对同音汉字的阅读时表现较明显,如颞上回、额下回和岛叶等区域(图 2)。

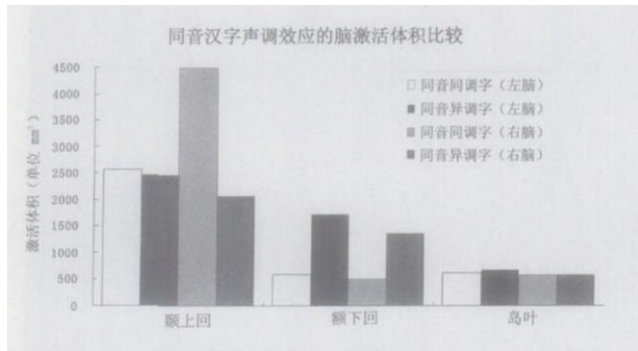


图 2 三个不同脑区的同音汉字声调效应的脑激活体积比较

3 讨论

本实验结果支持了以往本实验室汉字的脑成像研究结果^[1, 2, 11, 12]。在经典语言区激活外,还能观察到右侧额下回、左侧额中回、左侧顶上小叶、左侧顶上小叶等一些与汉字加工特异性程度特别是规则性效应联系紧密的区域。这些结果也与其他研究者利用 fMRI 或 PET 技术进行的拼音文字或中文信息加工的脑激活结果基本吻合^[13-19]。

本实验的创新是同时考虑声调和读音。半规则字在理论上似乎是完全规则字和完全不规则字两个极端的过渡,但本研究行为实验提示,声调因素的加入使半规则字发生了分离现象,四种任务并非呈现反应时的递增变化,我们称之为半规则效应。

半规则效应在脑成像结果上更为明显。由图 1 可以看出,部分脑区在四种任务中,前两者脑激活模式比较接近,而后两者更相似,即与声调的作用相比,读音的作用更明显,如右侧小脑,左侧额中回等;而另一些脑区则同音同调与异音同调字的激活模式接近,而同音异调与异音异调的相似,即调的作用明显,而音的作用不明显,如右侧颞上回、双侧的额下回等。

总之,本实验发现,汉字规则性效应中存在半规则效应,这种半规则效应是读音和声调两个因素共同作用的结果,同时也提示,声调因素的加入进一步丰富了汉字形音转换的脑加工机制研究,至于声调参与的程度还有待进一步研究。

[参考文献]

[1] Ma LF, Yu W, Tan XJ, et al. Overt responses during FMRI scanning and potential solutions of the artifacts[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2004, 20(3): 468-471.
马力飞, 于薇, 谭向杰, 等. 发声任务在功能磁共振成像中的应用及伪影校正方法探讨[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(3): 468-471.

[2] Tan XJ, Ma LF, Yu W, et al. Frequency effect in reading aloud irregular Chinese characters: an fMRI study[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2004, 20(11): 1639-1641.

谭向杰, 马力飞, 于薇, 等. 出声阅读条件下不规则汉字频率效应的功能磁共振成像研究[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(11): 1639-1641.

- [3] Gandour J, Wong D, Hsieh L, et al. A cross linguistic PET study of tone perception[J]. J Cogn Neurosci, 2000, 12(1): 207-222.
- [4] Klein D, Zatorre RJ, Milner B, et al. A cross linguistic PET study of tone perception in mandarin Chinese and English speakers[J]. Neuroimage, 2001, 13(4): 646-653.
- [5] Gandour J, Wong D, Lowe M, et al. A cross linguistic fMRI study of spectral and temporal cues underlying phonological processing[J]. J Cogn Neurosci, 2002, 14(7): 1076-1087.
- [6] Wong PC, Parsons LM, Martinez M, et al. The role of the insular cortex in pitch pattern perception: the effect of linguistic contexts[J]. J Neurosci, 2004, 24(41): 9153-9160.
- [7] Chen Y, Fu S, Iversen SD, et al. Testing for dual brain processing routes in reading: a direct contrast of Chinese character and pinyin reading using fMRI[J]. J Cogn Neurosci, 2002, 14(7): 1088-1098.
- [8] Wang Y, Sereno JA, Jongman A, et al. fMRI evidence for cortical modification during learning of mandarin lexical tone[J]. J Cogn Neurosci, 2003, 15(7): 1019-1027.
- [9] Hsieh L, Gandour L, Wong D, et al. Functional heterogeneity of inferior frontal gyrus is shaped by linguistic experience[J]. Brain Lang, 2001, 76(3): 227-252.
- [10] Gandour J, Tong Y, Wong D, et al. Hemispheric roles in the perception of speech prosody[J]. Neuroimage, 2004, 23(1): 344-357.
- [11] Ma L, Tang YY, Wang Y, et al. Mapping cortical areas associated with Chinese word processing using functional magnetic resonance imaging[J]. Chinese Medical Journal, 2003, 116(2): 176-180.
- [12] Li EZ, Weng XC, Han Y, et al. Asymmetry of brain functional activation: fMRI study under language and music stimulation[J]. Chinese Medical Journal, 2000, 113(2): 154-158.
- [13] Fiez JA, Balota D, Raichle M, et al. Effects of lexicality, frequency and spelling to sound consistency on the functional anatomy of reading[J]. Neuron, 1999, 24(1): 205-218.
- [14] 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.
- [15] Chee WL, Tan EW, Thiel T. Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging[J]. J Neurosci, 1999, 19(8): 3050-3056.
- [16] Klein D, Milner B, Zatorre RJ, et al. Cerebral organization in bilinguals: a PET study of Chinese-English verb generation[J]. NeuroReport, 1999, 10(13): 2841-2846.
- [17] Tan LH, Ho LL, Perfetti CA, et al. The neural system underlying Chinese logograph reading[J]. Neuroimage, 2001, 13(5): 836-846.
- [18] Bookheimer SY, Zeffiro TA, Blaxton T, et al. Regional cerebral blood flow during object naming and word reading[J]. Hum Brain Mapp, 1995, 3(2): 93-106.
- [19] Bookheimer. How the brain reads Chinese characters[J]. Neuroreport, 2001, 12(1): A1.