

从使动句加工的功能性磁共振成像看 中文句法加工的独立性*

封世文 沈兴安 杨亦鸣

(江苏省语言科学与神经认知工程重点实验室; 徐州师范大学语言研究所, 徐州 221009)

摘要 大脑中的句法加工模式是神经认知科学研究的重要课题, 而句法加工是否存在独立性一直是研究者争论较多的问题。有形态标记的英语等印欧语语言的句法可以通过形态变化表现, 而汉语不具备与印欧语有明确对应关系的形态变化, 因此汉语的句法变化几乎不能通过外在形态标记。通过 3T 场强功能性磁共振成像, 以汉语语义等值使动句为研究材料, 对不依赖形态变化来标记句法变化的汉语句法加工的独立性进行了初步研究。结果显示, 大脑左侧额叶对于汉语句法加工具有重要的作用, 尤其是大脑左侧额叶中回的 BA44 区和额叶下回的 BA47 区都对汉语句法加工较为敏感, 这表明即使不通过形态改变来标记句法变化, 汉语句子加工中的句法加工仍然可以被分离, 句法独立性的加工主要由大脑左侧额叶中回及大脑左侧额叶下回等脑区承担, 大脑左侧颞叶并未参与汉语句法的独立性加工。

关键词 汉语; 句法; 大脑左侧额叶; 功能性磁共振成像

分类号 B842;B845

1 引言

句法独立性的研究源于乔姆斯基 1957 年提出的“语法独立性”假设。这一假设认为, “语法最好独立于语义学而成为自成系统的研究, 从而成为一个公式系统” (Chomsky, 1957), 这是乔姆斯基生成语言学的基本观点之一。目前语法加工特别是句法加工的独立性已成为心理语言学家、神经科学家研究的重要课题。然而从已有的文献来看, 有关“句法独立性”的研究特别是“中文句法加工独立性”的研究还存在一些问题。

首先, 众多研究表明了句法加工独立性的思想, 认为语言中的句法加工与大脑左半球额叶的一部分密切相关, 特别是 LIFG 在句法加工过程中起关键作用 (Caramazza & Zurif, 1976; Berndt & Caramazza, 1981)。研究结果还表明, 句法加工一般涉及大脑左侧额中回 (Dapretto & Bookheimer, 1999;

Luke, Liu, Wai, Wan, & Tan, 2002; Ben-Shachar, Palti, & Grodzinsky, 2004; Wang et al., 2008)、大脑左侧额下回 (Just, Carpenter, Keller, Eddy, & Thulborn, 1996; Caplan, Alpert, & Waters, 1998; Inui et al., 1998; Keller, Carpenter, & Just, 2001; Ben-Shachar et al., 2004; Grodzinsky & Friederici, 2006; Grodzinsky & Santi 2008; Wang et al., 2008) 以及大脑左侧颞叶和下顶叶 (Just et al, 1996; Keller et al., 2001; Friederici, Ruschemeyer, Hahne, & Fiebach, 2003; Ben-Shachar et al., 2004; Humphries, Binder, Medler, & Liebenthal, 2006; Rogalsky & Hickok, 2008)。还有研究提出了句法加工独立性有专属脑区的设想, 例如, Boland(1997)对英语的研究认为句法加工器是自主的; 亚范畴等不会破坏句法加工器的模块性或自主性。有的研究还明确将大脑左侧额叶下回(LIFG)的激活作为句法加工的标志 (Friederici, Meyer, & Cramon, 2000; Hargoot,

收稿日期: 2010-04-07

* 国家社科基金项目(09CYY016)、江苏省高校哲学社会科学重点项目(07SJB740006、08SJB7400007)、江苏省教育厅省属高校自然科学研究重大项目(10KJA180051)和江苏省教育厅哲学社会科学重点研究基地基金资助。

通讯作者: 杨亦鸣, E-mail: yangym@xzn.edu.cn

2003; Grodzinsky et al., 2006)。Grodzinsky 等人(2008)的研究也表明句法移位的加工是对 Broca 区在语言理解中所起作用的最好解释,超过了其他认知机制,也就是说这一区域主要与句法移位的加工相关。然而和上述研究存在冲突的是,也有较多的研究表明句法加工激活的这些脑区和语言的其他认知加工过程激活的脑区存在很多重叠(DePreto et al., 1999; Kang, Constable, Gore, & Avrutin, 1999; Vigliocco, 2000; Luke et al., 2002; Newman, Pancheva, Ozawa, Neville, & Ullman, 2001; Friederici et al., 2003; Hagoort, 2005),因此句法独立加工机制受到了质疑(Kuperberg et al., 2003; Willems & Hagoort, 2009)。

汉语是一种无形态标记的语言,句法不能通过外在形态屈折变化来标记,因此汉语和其他印欧语系语言的句法加工独立性的神经机制有可能存在差异,但是针对汉语的研究结果也非常不一致(Zhang & Mo, 2006; Ye, Luo, Friederici, & Zhou, 2006; Wang et al., 2008; Sun & Liu, 2005; Luke et al., 2002; Zhang, Liu, Shu, & Sun, 2003)。

这些研究存在的争论表明,要通过上述使用印欧语系语言做为研究对象的研究范式来探讨句法加工独立性是否具有对应的神经机制还存在许多问题。而这些研究又较少涉及汉语句法加工独立性机制的研究,特别是针对“语法独立性”的重要内容“句法独立性”的研究,多数集中于有复杂形态屈折变化的印欧语系诸语言,对于非形态变化语言如汉语的研究尤其不够,而功能性磁共振成像方面的研究则更少。

其次,几乎所有研究句法的实验都采用了正误判断这一语义导向性很强的实验任务,这一因素可能会导致实际的句法加工未能从实验中分离,也就不能较好地获取与句法独立性加工相关的神经活动的证据。对语言认知实验结果影响较大的是实验任务的选择,绝大多数对于句法加工的研究都是通过正误判断任务得出实验结果的,例如将对英语句子加工中形态正误的判断作为句法任务(Humphries, Love, Swinney, & Hickok, 2005; Martin-Loeches, Nigbur, Casado, Hohlfeld, & Sommer, 2006)。汉语词组、句法语义正误判断任务做为句法任务(Luke et al., 2002)以及 Wang 等人(2008)使用词类替换及句子正误判断等任务。这些做法都忽视了一个可能存在的问题:即使汉语的句子中通过替换不同的词来表征句法违反,但是首先它可能也是一个语义违反的句子。因此通过语义判断任务不能很好的控制汉

语句子加工中的语义对句法的影响。

将句法加工独立性的研究集中于形态变化和正误判断会导致一系列无法解决的问题产生。例如,句法形态的变化也同时会导致语义的改变,在英语名词复数的变化,可以导致语义量的改变,这表明通过形态标记本身的变化,很难控制好语义这一变量。尤其是汉语,本身就没有形态变化,句法更难于表现。汉语缺乏与印欧语对应的形态变化,这就导致对汉语句法分析的研究必须要在语义搭配的范式下进行,然而最关键的是,怎样排除正误判断尤其是语义导向性很强的正误判断对句法加工独立性的影响?现有的研究范式似乎无法解决这个问题。在现有研究范式解决不了这个问题的前提下,必须从语料本身出发,尽量避免语义这一因素对句法加工的影响或者降低语义加工对句法加工的影响程度,从而获得句法加工独立性的神经活动证据。

为了解决上述两个问题从而达到获得句法加工独立性神经活动证据这一目的,我们选择了汉语中的使动结构做为实验语料,以期通过非形态变化和非正误判断任务进一步了解句法加工的脑机制。汉语中使动结构的主要标志是包含一个具有使动义的动词,由使动结构构成的等值语义关系句可以称为役格句。本研究中的使动句就是包含使役动词,如“使”等词构成的句子,而役格句则不包含使役动词,但是谓语具有使动用法。现代汉语研究者认为,“汉语的使役标记是使役动词,如果使役动词是一个实实在在的词,它标记的就是使动句,而如果使役动词是一个零形式,就是役格句”,“含零使役动词的使动句中,作格动词移到零使役动词的位置与之结合,就生成了所谓的役格句。”例如:

(1) 那本书 使 (我 感动了)。

(2) 那本书感动了 (我)。

零形式使役动词实际上就是轻动词(Hale & Keyser, 1993; Huang, 1997)。使役动词是零形式,作格动词便要移位与之结合,就生成了役格句(He & Wang, 2002)。这种说法与汉语轻动词移位的假设是一致的:即汉语轻动词可以导致核心动词的移位,从而占据轻动词位置。在汉语“使”字句中,正是有语音形式的轻动词“使”造成了句法移位过程的存在,因此,这两个句子在一定程度上存在着句法推导关系,而在实际使用中这两个句子表达的语义内容又是基本一致的,因此,这两个句子之间的对比可以反映等值语义条件下不同句子句法推导过程的差异,

这就为研究汉语句子里中句法加工的独立性准备了很好的材料。

在上述理论假设和研究背景下,为了能够有效分离中文句子中句法独立加工的过程,我们利用了语义等值的句子之间存在的句法推导关系,通过使动句和役格句这两类句子在语义上的一致性来控制句子的语义变量,借助功能性磁共振成像高度精确的空间分辨率,从而观察大脑句法加工独立性的神经机制。

2 fMRI 研究

2.1 实验材料及设计

实验材料(条件)分为两种,材料 1 是包含“使”的句子,称之为“显性使动句”,“使”字吸引后面的主要动词移位;材料 2 是不包含“使”的句子,称之为“隐性使动句”,不存在主要动词向前移位的条件。但是材料 2 中的句子可以由材料 1 的句子移位形成,即役格句由作格动词移到零使役动词位置与之结合而生成。选择汉语使动句作为研究材料的好处是,可以很好的控制语义因素对句法推导的影响,这两种句子的语义可以互相变换,而且基本上不会改变原来句子的意思。例如:

条件 1	条件 2
市场使经济繁荣	市场繁荣了经济
施工使信号中断	施工中断了信号
手机使交流方便	手机方便了交流

实验材料的选择过程是,通过问卷调查,向在校本科生发出问卷 100 份,收回 87 份。实验材料经过问卷调查确定,如果 75%被试认为这些句子是一般常用的我们就认为是常用句,对于 75%以上被试认为常用的,但是差异稍大的两个句子也予以排除。

实验序列包含显性使动句和隐性使动句各 16 句,同时为了尽可能减少错误句子的语义干扰,中间只随机插入 6 个错误的句子作为填充句,这样共有 38 个句子作为刺激材料。实验采用事件相关设计,将每个句子的主语和后面的部分连续呈现,例如,先呈现“市场”500ms,紧接着呈现“繁荣了经济”或者“使经济繁荣”500ms,出现“+”后让被试迅速做出反应。每个句子之间的间隔时间通过随机决定,平均间隔时间为 12s,实验材料呈现的时间是每个部分 500ms。实验材料采用视觉呈现,所用的软件为 Psychology Software Tools 公司提供的 E-Prime (Version 1.0)。

2.2 被试及任务

本实验共选择 19 名以汉语为母语的正常人作为被试,年龄在 20~26 岁之间,文化程度都在大学以上,被试通过利手检测,均为右利手。均无任何精神和神经疾病史,均自愿参与本实验。

实验开始前,分别对被试进行按键和实际操作训练,保证被试熟练使用按键盒和适应屏幕。在被试训练当中,告知被试一定要在阅读并默念完整句子之后再做出正确或错误反应。除了正误判断任务之外,现有的脑功能成像研究几乎没有关于汉语句法实验的其他任务范式可供参照,英语相关研究主要依赖于正确错误判断任务或者句法违反和语义违反任务,但是汉语缺乏表面上的形态变化,因此纯粹依靠显性变异导致句法违反的范式在汉语中是不存在的。考虑到句法移位主要依赖句子中的动词来执行,因此确定本实验的任务是,被试在看完呈现在屏幕中央的句子后,准确而迅速的判断所看句子后半部分中的主要动词的位置,位于这个部分内部前面的按下左键,反之按下右键。例如,被试在看到屏幕上呈现结束“繁荣了经济”时心里默念完之后,做出主要动词位置的判断,由于“繁荣”位于前半部分,所以被试要同时按下左键。

2.3 实验过程及数据处理

成像机器为美国 GE 公司生产的 EXITE 3.0T 核磁共振机,装备有 8 通道标准头部线圈和 EPI 扫描序列。实验材料采用投影投射进入被试头部线圈上的反光镜,并调试到被试舒适且清晰的阅读位置。实验的具体扫描过程是:先扫描与功能像一致的大脑水平横切面的 T1 结构像,再扫描 EPI 功能像,最后扫描三维的 T1 结构像。水平结构像采用快速自旋回波(Fast Spin Echo)序列进行扫描,获取 22 层的水平位图像,具体扫描参数是 TE=24ms、TR=1900ms、层厚=5mm、间隔=0mm、FOV=240mm、Matrix=320×192;功能像采用基于 BOLD 的 EPI 成像序列进行扫描,获取 22 层的水平位功能图像,具体扫描参数是 TE=30ms、TR=2000ms、层厚=5mm、间隔=0mm、FOV=240mm、Matrix=64×64;三维结构像采用扰相梯度回波(Spoiled Grass)成像序列进行扫描,获取矢状位图像,具体的扫描参数是 TE=最小、TR=30ms、层厚=1mm、间隔=0 mm、FOV=260mm、Matrix=256×256。

实验数据处理软件采用基于 Linux 操作平台的 AFNI (Analysis of Functional NeuroImage) (Cox & Hyde, 1997)软件包。为了减少由于个体差异以及机

器本身等原因造的误差和进一步的统计分析, 我们首先要对实验数据进行预处理, 具体过程是: (1) 头动校正和图像的配准: 由 AFNI 软件进行伪影的去除, 然后将三维像与结构像配准。(2) 空间标准化: 采用 Talairach-Tournoux 坐标(Talairach & Tournoux, 1988)将每个被试大脑的大小进行重新换算。具体做法是, 在大脑上选取 5 个点, 用于重新定位大脑的大小。这 5 个点是: 大脑前联合上缘(AC superior edge)、前联合下缘(AC posterior margin)、后联合下缘(PC inferior edge)、重新定位 Z 坐标的两个中矢点(mid-sag point)。(3) 空间平滑和时间平滑: 对数据的功能图像进行高斯平滑, 全高半宽(FWHM)的大小选择 5。(4) 去线性漂移: 对扫描基线的漂移进行去除。在预处理过程完成后进行统计分析, 以生成统计参数激活图。由于使用的是事件相关设计, 因此错误的填充句子可以被挑选出来进行排除, 因此在使用反卷积运算的方法, 得到每个任务的冲击响应函数时, 使用的数据常模都是实验所要考察的句子, 得出的实验结果也仅是条件 1 和 2 中句子任务的结果, 不包含填充句。在反卷积运算之后, 对得出的冲击响应函数(IRF)进行平均, 得到所有被试一个平均时间点的信号, 再对得到的平均功能数据进行标准化处理, 使用方差分析(ANOVA)的方法, 对不同任务的平均冲击响应函数进行检验, 将结果功能像与标准化 3D 像叠加并用伪彩标示在三维脑结构像上的激活体素(Voxel)位置, 最后以 $p < 0.001$ (校正 p 值小于 0.05), 大于 6 个体素为激活脑区。

2.4 实验结果

实验结果显示, 显性使动句对比隐性使动句的激活脑区有: 右中央前回, 右颞下回, 前扣带回(见

图 1-B), 除了前扣带回可能与语义加工相关之外(Bottini et al., 1994; Vandenberghe, Nobre, & Price, 2002; Li, Jin, & Tan, 2004; Humphries et al., 2005), 其他脑区与语言加工特别是句法和语义加工之间的关系还少有报道。而隐性使动句对比显性使动句激活的脑区有: 左额叶下回, 左额叶中回, 左额叶上回, 左侧下顶叶, 前扣带回, 左楔前叶, 左后顶叶, 右额叶中回、右额叶下回以及右后顶叶(图 1-A)。其中在左脑半球额叶, 隐性使动句比显性使动句激活明显, 特别是额叶下回的激活范围, 隐性

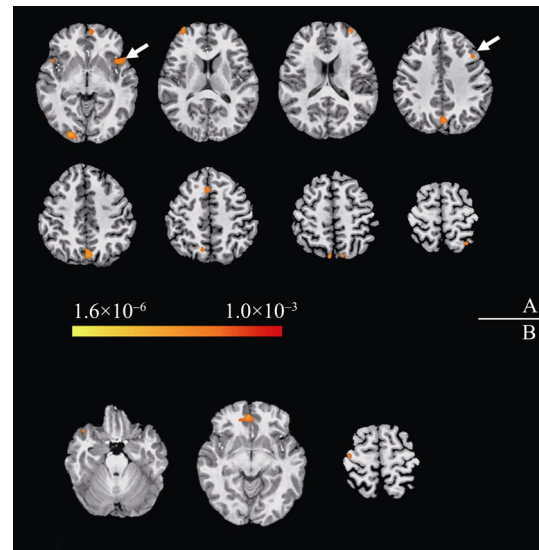


图 1 实验结果激活脑区($p < 0.001$, 校正 $p < 0.05$)

注: 图中显示为大脑水平位置图像, A 为隐性使动句>显性使动句的结果, 箭头所指为大脑左半球额叶中回和左半球额叶下回的激活位置; B 为显性使动句>隐性使动句的结果; 图中色彩所示为激活阈值的取值范围。

表 1 显性使动句对比隐性使动句、隐性使动句对比显性使动句激活的 BA(Brodmann Area)脑区、每个激活脑区最大激活点的 T-T(Talairach-Tournoux)坐标位置以及对应的 t 值

语料	激活脑区	最大激活点 T-T 坐标	t 值
隐性使动句 VS 显性使动句	左侧额下回 BA47	-46, 14, 2	5.689
	左侧额中回 BA9/44	-41, 19, 35	4.736
	左侧额上回 BA10	-31, 56, 17	5.116
	左侧后顶叶 BA7	-30, -59, 57	5.080
	左侧前楔叶 BA7	-4, -72, 38	6.850
	左侧下顶叶 BA2	-50, -30, 39	3.907
	右侧前楔叶 BA7	5, -77, 49	5.101
	右侧额中回 BA19	32, -58, 12	5.677
	右侧岛叶 BA13	37, 19, 9	3.660
	右侧后顶叶 BA7	11, -67, 44	4.799
显性使动句 VS 隐性使动句	前扣带 BA32/10	6, 41, -3	4.764
	右侧颞下回 BA38	40, 20, -22	4.158
	右侧中央前回 BA6	40, -14, 60	4.804

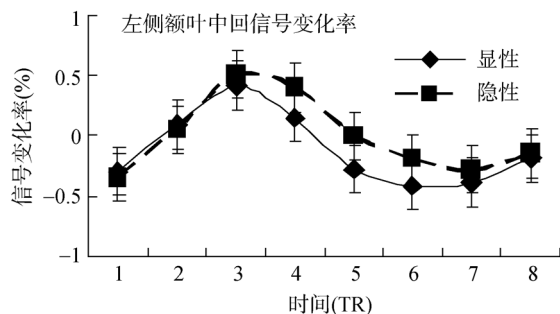


图2 两种实验条件在大脑左半球额叶中回一个血氧信号变化周期内的变化率强度比较

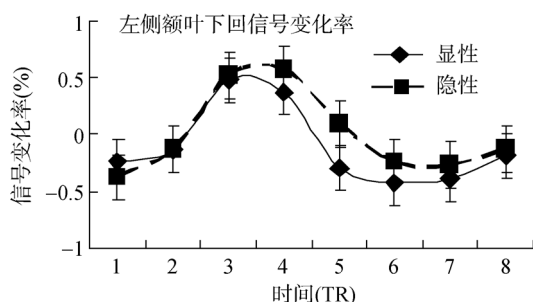


图3 两种实验条件在大脑左半球额叶下回一个血氧信号变化周期内的变化率强度比较

使动句显著大于显性使动句(图 1-A, 表 1), 额叶与语言加工之间的密切关系在前人的研究中已有非常详细的论证, 上文已有介绍。图 2、图 3 是两种任务在大脑左侧额叶激活的信号变化率, 可以看出大脑左半球额叶的中回、下回等脑区在隐性使动句加工中的信号变化率明显强于显性使动句, 这更加证实了额叶中下回在隐性使动句加工中比在显性使动句加工中起更大的作用。

3 结果分析与讨论

利用印欧语语言为语料的脑功能成像研究对句法加工脑区的揭示存在非常不一致的结果, 近年来甚至在额叶还是颞叶主导了句法加工上也产生了分歧(Humphries et al., 2006; Rogalsk et al., 2008), 这些结果从根本上动摇了心理语言学研究对句法加工独立性神经机制研究的基础。造成这些争论的原因虽然很复杂, 但是缺乏对更多语言, 尤其是缺乏对印欧语形态体系之外语言句法的研究是其中最重要的原因之一。本研究的目的是利用汉语这种无确定形态标记语言中句法推导过程的特殊性, 研究汉语句法加工独立性的神经机制, 具体包括三个方面, 首先是确定同语义值不同句法表征句子之间的脑区有无差别; 其次是, 不同语料之间的差异

是否反映了句法加工的独立性; 最后, 汉语句法加工到底有没有独立性, 句法加工独立性的神经活动反应在大脑的哪些脑区。

fMRI 实验结果表明, 等值语义关系的显性使动句和隐性使动句二者脑加工机制的不同。关于句法加工, 研究者们一直认为左侧额叶占据着关键的作用, 左侧额中回(BA44) (Dapretto et al., 1999; Luke et al., 2002)和左侧额下回(BA47) (Just et al., 1996; Caplan et al., 1998; Inui et al., 1998; Keller et al., 2001; Grodzinsky et al., 2006)是句法加工的关键脑区。在本研究中, 我们使用了显性和隐性使动句做为研究语料, 从语言学分析角度出发, 隐性使动句中缺乏汉语中“使”这一显性的轻动词, 然而这种具有使动含义“役格句”在生成过程中包含的隐性轻动词与句尾“作格”动词移位合并从而占据核心动词位置这一句法加工过程, 较显性使动句来说, 隐性使动句多出了移位合并等句法过程, 因此可以假设隐性使动句在句法加工中需要更多的脑活动过程参与。而实验结果表明, 大脑左侧额叶的下回、中回以及上回都对隐性使动句对比显性使动句的句法推导过程起重要作用, 因此, 大脑中的这种轻动词移位合并作格动词从而占据核心动词位置的句法加工过程可以从语义加工中分离出来, 而且相似的句法移位在一些研究工作中已被证实主要有左侧额叶下回的参与(Ben-Shachar et al., 2004), 这种句法移位合并过程的成功被分离进一步支持了句法具有独立加工机制的假说。然而此前有汉语词组正误判断实验的结果则认为, 句法加工必须依赖语义加工(Luke et al., 2002)。但是本研究结果显示, 在语义之外, 句法加工需要额叶下回、中回等脑区的参与。这说明, 虽然我们在表面上看不到具体句法运转机制, 甚至有时候通过行为实验也不能发现句法加工的过程, 但是句法过程是可以被单独观测到的, 特别是本实验结果中大脑左侧额下回的激活表明, 句法可以从句子的语义加工中被分离出来, 这也表明句法加工可以作为一种独立的脑加工机制存在, 而可能不受或者较少受到语义因素的影响。

近年来对汉语句法的研究结果表明, 汉语虽然没有与印欧语对应的形态变化, 但是存在起句法作用的功能性范畴, 轻动词就是其中比较重要的功能性范畴之一, 英语中的轻动词基本上没有外在语音形式, 在语义上也比较单一, 基本上只表示“致使”

义(Hale et al., 1993)。汉语中具有“致使”义但原有句法功能和语音形式不一致的词可以互相比较,以推导出不同的句法关系(Huang, 1997)。这种比较的好处是,可以将不同的词之间的语义差异控制在最小范围内,因此轻动词在不同的句子中导致的外在差异可能就是句法之间的差异,在语言学上可称为两个句子具有句法推导关系,本研究结果也有力支持了这一理论。

实验结果还表明,句法加工不可能由额叶中回(Dapretto et al., 1999; Luke et al., 2002)独立完成,额叶下回也参与了句法加工。额叶下回参与句法加工的过程在已有的研究中被实验任务中较强的语义判断任务所掩盖,因此可能会造成了额叶下回在语义任务中比在句法任务中激活强烈的假象。前文已经表明,心理语言学者发现句法加工和语义加工可以互相分离,最近利用事件相关电位对汉语的研究也证明了这一观点(Yang, Liang, Gu, Weng, & Feng, 2002; Ye et al., 2006; Ye, Zhan, & Zhou, 2007; Ye, & Zhou, 2008)。从现有的研究来看,大多数实验,无论是听觉还是视觉都采用真假句判断来作为实验任务,而真假句判断本身的语义因素干扰对被试来说无法得到有效地排除,已有的研究(Just et al., 1996; Luke et al., 2002; Ye et al., 2006)结果都不能排除语义对句法的影响。本实验在语义控制上将语料对比的语义因素减少到了最小程度,在这样的条件下,发现大脑左侧额叶下回在两种句式对比中有着比左侧额叶中回更强烈的激活,因此可以认为额叶下回主要参与句法加工的可能性要大于额叶中回参与句法加工的可能性,在本研究中这种句法加工主要表现为句法移位,这与已有的研究成果相一致(Ben-Shachar et al., 2004; Grodzinsky et al., 2006)。但是也不能排除额叶中回不参与句法的加工,有可能额叶的下回、上回以及中回都参与了句法加工,只是各有分工,而这种分工则需要更进一步的研究。颞叶区(包括传统的 Wernicke 区)参与句法加工是近来句法加工机制研究的一个热点(Friederici et al., 2003; Humphries et al., 2006; Rogalsk et al., 2008)。但是本实验结果表明,颞叶在句法移位过程中所起的作用有限,在本研究中左侧颞叶就没有被发现有更多的激活,这表明上述实验虽然发现了颞叶参与了句法加工,但是在语义判断等实验任务的干扰中,并不能排除是任务本身造成的左侧颞叶脑区的激活,因此大脑颞叶参与了句法加工的加工模式值得怀疑。

本实验中,我们严格控制了两个比较条件中语义因素的干扰,因此大脑左侧额叶下回、中回发现的激活就可以表明,句法分析在大脑中的加工过程不是语义加工的一个下位过程,而是具有独立性或者至少可以说是与语义平行交叉进行的一个认知过程。Luke 等人(2002)对汉语句法加工脑功能成像研究结果认为,汉语句法加工是语义加工的一个下位过程,这实际上是认为汉语句法加工的过程必须依赖于语义加工,不具有独立性,也不能从语义加工中分离。语言学者认为,汉语句法和语义之间相互影响,句法加工依赖语义加工,语义加工影响句法加工,但是不能依此推论句法没有独立加工机制。本实验中显示的大脑左侧额叶脑区以及其他脑区的差异,特别是额叶下回、中回等脑区的差异结果表明,等值语义条件下不同形式的句子之间的加工过程存在一定的差异性,这表明,除了语义因素之外,还有其他因素影响了句子的加工,因为还没有足够的文献针对句子的语用和语音之间的差异作出研究,因此,我们可以假设除了语义之外,这种差异与句法的相关性最大。如果这个假设可以成立的话,那么句法加工的独立性也就可以得以证明。基于上述分析,可以说句法加工的非独立性或者语义下位说的假设都是存在问题的。

4 结语

本研究利用汉语中语义近乎等值、句法有差异的两组句子加工的对比实验,揭示不通过外在形态标记的形式来表现的汉语句法加工有其独立性。基于以上实验结论和讨论,可以认为汉语的句法加工可以被有效地分离。研究结果支持句法独立性加工的模式,同时表明汉语句法加工不可能完全由大脑左侧额叶中回来承担,大脑左侧额叶下回及其他脑区也可能参与其中;大脑的颞叶区单独参与汉语句法加工的过程,在本实验中得不到证明。

需要指出的是,我们所说的“句法加工的独立性”,只是为了证明句法的加工机制是可以被分离且在大脑中有可能存在专门运用于句法加工的脑区,并不是说语言的加工只要句法就可以完成。实际上,正常人的语言加工是多种认知功能协同加工的过程,句法绝对不能脱离语义、语音甚至语用而在自然话语中孤立地进行加工,否则就不符合人类语言的加工实际。同时不可否认的是,对于汉语句子的脑功能成像实验研究仍没有固定范式可供参

照, 我们的研究也属于探索性质, 在语料选择、范式设计以及数据采集及分析中一定还存在许多问题, 这有待于在进一步的实验中完善。

参 考 文 献

- Bandettini, P. A., & Cox, R. W. (2000). Event-related fMRI contrast when using constant interstimulus interval: theory and experiment. *Magnetic Resonance in Medicine*, 43, 540–548.
- Ben-Shachar, M., Palti, D., & Grodzinsky, Y. (2004). The neural correlates of syntactic movement: converging evidence from two fMRI experiments. *Neuroimage*, 21, 1320–1336.
- Berndt, R. S., & Caramazza, A. (1981). Syntactic aspects of aphasia. In: M. T. Sarno (ed). *Acquired aphasia*. New York: Academic Press, 157–181.
- Boland, J. E. (1997). The relationship between syntactic and semantic processes in sentence comprehension. *Language and Cognitive Processes*, 12, 423–484.
- Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1994). The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. *Brain*, 117, 1241–1253.
- Caplan, D., Alpert, N., & Waters, G. (1998). Effects of syntactic structure and propositional number on patterns of regional cerebral blood flow. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 541–552.
- Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. Mouton: The Hague.
- Cox, R. W., & Hyde, J. S. (1997). Software tools for analysis and visualization of fMRI data. *NMR in Biomedicine*, 10, 171–178.
- Dapretto, M., & Bookheimer, S. Y. (1999). Form and content: dissociating syntax and semantics in sentence comprehension. *Neuron*, 24, 427–432.
- Friederici, A. D., Meyer, M., & Von, Cramon, D. Y. (2000). Auditory language comprehension: an event related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain and Language*, 74, 289–300.
- Friederici, A. D., Ruschemeyer, S., Hahne, A., & Fiebach, C. J. (2003). The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes. *Cereb Cortex*, 13, 170–177.
- Grodzinsky, Y., & Friederici, A. D. (2006). Neuroimaging of syntax and syntactic processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 240–246.
- Grodzinsky, Y., & Santi, A. (2008). The battle for Broca's region. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 474–480.
- Hagoort, P. (2003). Interplay between syntax and semantics during sentence comprehension: ERP effects of combining syntactic and semantic violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 883–899.
- Hagoort, P. (2005). On Broca, brain, and binding: a new framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 416–423.
- Hale, K. L., & Keyser, S. J. (1993). On argument structure and the lexical expression of semantic relations. In Hale, K. L. & Keyser, S. J. (eds). *The view from building*. Cambridge, Mass: MIT Press, 53–109.
- He, Y. J., & Wang, L. L. (2002). The syntax of causatives in Chinese (in Chinese). *Chinese Language Learning*, 4, 1–9.
- [何元建, 王玲玲. (2002). 论汉语使役句. *汉语学习*, 4, 1–9.]
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends Cognitive Science*, 4, 131–138.
- Huang, C. T. J. (1997). On lexical structure and syntactic projection. *Chinese Languages and Linguistics*, 3, 45–89.
- Humphries, C., Love, T., Swinney, D., & Hickok, G. (2005). Response of anterior temporal cortex to syntactic and prosodic manipulations during sentence processing. *Human Brain Mapping*, 26, 128–138.
- Humphries, C., Binder, J. R., Medler, D. A., & Liebenthal, E. (2006). Syntactic and semantic modulation of neural activity during auditory sentence comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 665–679.
- Inui, T., Otsu, Y., Tanaka, S., Okada, T., Nishizawa, S., & Konishi, J. (1998). A functional MRI analysis of comprehension processes of Japanese sentences. *NeuroReport*, 9, 3325–3328.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., Keller, T. A., Eddy, W. F., & Thulborn, K. R. (1996). Brain activation modulated by sentence comprehension. *Science*, 274, 114–116.
- Kang, A. M., Constable, R. T., Gore, J. C., & Avrutin, S. (1999). An event-related fMRI study of implicit phrase-level syntactic and semantic processing. *NeuroImage*, 10, 555–561.
- Keller, T. A., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (2001). The neural bases of sentence comprehension: A fMRI examination of syntactic and lexical processing. *Cerebral Cortex*, 11, 223–237.
- Kuperberg, G. R., Holcomb, P. J., Sitnikova, T., Greve, D., Dale, A. M., & Caplan, D. (2003). Distinct patterns of neural modulation during the processing of conceptual and syntactic anomalies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 272–293.
- Li, P., Jin, Z., & Tan, L. H. (2004). Neural representations of nouns and verbs in Chinese: an fMRI study. *NeuroImage*, 21, 1533–1541.
- Luke, K. K., Liu, H. L., Wai, Y. Y., Wan, Y. L., & Tan, L. H. (2002). Functional anatomy of syntactic and semantic processing in language comprehension. *Human Brain Mapping*, 16, 133–145.
- Martin-Loeches, M., Nigbur, R., Casado, P., Hohlfeld, A., & Sommer, W. (2006). Semantics prevalence over syntax during sentence processing: a brain potential study of noun-adjective agreement in Spanish. *Brain Research*, 1093, 178–189.
- Newman, A. J., Pancheva, R., Ozawa, K., Neville, H. J., & Ullman, M. T. (2001). An event-related fMRI study of syntactic and semantic violations. *Journal of Psycholinguistic Research*, 30, 339–364.
- Rogalsky, C., & Hickok, G. (2008). Selective attention to semantic and syntactic features modulates sentence processing networks in anterior temporal cortex. *Cerebral Cortex*, 19, 786–796.
- Shi, D. F., Zhang, H. C., & Shu, H. (1999). The immediate effect of verb information in Chinese sentence comprehension (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 31, 28–35.
- [石东方, 张厚粲, 舒华. (1999). 动词信息在汉语句子加工早期的作用. *心理学报*, 31, 28–35.]
- Sun, B., & Liu, M. (2005). An experiment on the semantic and syntactic effects on sentence processing (in Chinese).

- Studies of Psychology and Behavior*, 3, 121–124.
- [孙兵, 刘鸣. (2005). 句子加工中语义关联性和句法歧义性实验研究. *心理与行为研究*, 3, 121–124.]
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York: Thieme Medical Publishers.
- Vandenberghe, R., Nobre, A. C., & Price, C. J. (2002). The response of left temporal cortex to sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 550–560.
- Vigliocco, G. (2000). Language processing: The anatomy of meaning and syntax. *Current Biology*, 10, R78–80.
- Wang, S. P., Zhu, Z. D., Zhang, J. X., Wang, Z. X., Xiao, Z. W., Xiang, H. D., & Chen, H-C. (2008). Broca's area plays a role in syntactic processing in Chinese sentence reading. *Neuropsychologia*, 46, 1371–1378.
- Willems, R. M., & Hagoort, P. (2009). Broca's region: Battles are not won by ignoring half of the facts. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 101.
- Yang, Y. M., Liang, D. D., Gu, J. X., Weng, X. C., & Feng, S. W. (2002). A neurolinguistic study on the classification of nouns and verbs in Chinese(in Chinese). *Linguistic Sciences*, 1, 31–46.
- [杨亦鸣, 梁丹丹, 顾介鑫, 翁旭初, 封世文. (2002). 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*, 1, 31–46.]
- Ye, Z., Luo, Y. J., Friederici, A. D., & Zhou, X. L. (2006). Semantic and syntactic processing in Chinese sentence comprehension: Evidence from event-related potentials. *Brain Research*, 1071, 186–196.
- Ye, Z., Zhan, W., & Zhou, X. (2007). The semantic processing of syntactic structure in sentence comprehension: An ERP study. *Brain Research*, 1142, 135–145.
- Ye, Z., & Zhou, X. (2008). Involvement of cognitive control in sentence comprehension: Evidence from ERPs. *Brain Research*, 1203, 103–115.
- Zhang, J. Q., & Mo, L. (2006). Item order of propositional representation in understanding chinese initiative and passive sentences(in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 38, 317–323.
- [张金桥, 莫雷. (2006). 汉语主动句、被动句的命题表征项目顺序特点. *心理学报*, 38, 317–323.]
- Zhang, Y. X., Liu, Y. Y., Shu, H., & Sun, M. S. (2003). The parsing of disyllable words with syntactic category ambiguities in chinese sentence reading. *Acta Psychologica Sinica*, 35, 433–440.
- [张亚旭, 刘友谊, 舒华, 孙茂松. (2003). 中文句子中双音节兼类词句法分析历程初探. *心理学报*, 35, 433–440.]

附录

实验语料

显性使动句

音乐使生活丰富 军训使纪律严肃 散文使大家感动 喜讯使精神振奋 市场使经济繁荣 太阳使大地温暖
草地使校园美化 科技使文明进步 森林使空气净化 施工使信号中断 沟通使距离拉近 泪水使视线模糊 教育
使态度端正 岁月使容颜苍老 会议使思想统一 手机使交流方便

隐性使动句

音乐丰富了生活 军训严肃了纪律 散文感动了大家 喜讯振奋了精神 市场繁荣了经济 太阳温暖了大地
草地美化了校园 科技进步了文明 森林净化了空气 施工中断了信号 沟通拉近了距离 泪水模糊了视线 教育
端正了态度 岁月苍老了容颜 会议统一了思想 手机方便了交流

错误填充句

树木强化了记忆 森林使记忆强化 火光增长了知识 火光使知识增长 战争缓和了气氛 战争使气氛缓和

An fMRI Study of Chinese Causative Sentences: the Syntactic Independence of Chinese

FENG Shi-Wen; SHEN Xing-An; Yang Yi-Ming

(Key Laboratory of Language Sciences and Neurocognitive Engineering of Jiangsu Province; Institute of Linguistics,
Xuzhou Normal University, Xuzhou 221009, China)

Abstract

The brain processing models of syntactic and semantics are important issues in the cognitive neurosciences. In 1957, Noam Chomsky put forward the framework of Syntax Independence. Even today, the hypothesis of Syntax Independence is one of the central topics of linguistics. However, this important language hypothesis has not been well studied by neuroscience researchers. Boland (1997), Grodzinsky et al. (2008) and other researchers showed evidence of syntactic independence, and even proposed specific brain regions involved in independent syntactic processing. However, these studies have been challenged by some other researchers (e.g., Willems & Hagoort 2009). In fact, there are many morphological and syntactic markers in English and other Indo-European languages, and the syntactic variations in these languages can be embodied by morphological changes. In contrast, a language like Chinese does not have clear correspondent morphological changes like the Indo-European languages do. Consequently, if in the current experiment we can get at the neural processing of a morphologically impoverished languages like Chinese, we can find more conclusive evidence for the hypothesis of Syntax Independence in the brain.

The materials in this study are two types of Chinese Causative Sentences with an equivalent meaning. For example, (1) *Shichang Shi Jingji Fanrong* (DCS); (2) *Shichang Fanrong Le Jingji* (RCS). These two sentences have the same meaning “The market made the economy prosperous” in Chinese. The sentence (1) is termed Dominant Causative Sentences (DCS) and the (2) is termed Recessive Causative Sentences (RCS).

The fMRI acquisition was done on a GE 3.0T machine with an event-related design. The participants were 19 healthy, right-handed, native Chinese speakers, 10 males and 9 females, with ages ranging from 20 to 26 years. The experimental data was analyzed with the AFNI software package. Images were spatially normalized to the Talairach and Tournoux brain atlas and smoothed with a FWHM=5mm kernel and eliminate the linear drift. The average impulse response function of the different conditions were obtained in an ANOVA analysis.

The results showed that the left inferior frontal gyrus, the left middle frontal gyrus, and some other gyus in the left and right hemisphere were activated in the processing of Chinese Causative sentences. Further analysis showed that the left frontal lobe plays an important role in Chinese syntactic processing. The left inferior frontal lobe areas BA44 and BA47 are more sensitive to the Chinese syntactic processing when comparing the brain activations of DCS and RCS with a corrected p value 0.05. These results indicate that Chinese syntactic processing without morphological changes can be separated from semantics. The processing of syntactic independence is more closely related with the left inferior frontal gyrus than the left middle frontal gyrus, and the temporal lobe is not found in Chinese syntactic independence processing.

Key words Mandarin Chinese; syntactic; left frontal brain area; functional magnetic resonance imaging