

汉语动作成语语义理解激活脑区及其具身效应： 来自 fMRI 的证据*

苏得权^{1,2} 钟元² 曾红^{1,3} 叶浩生¹

(¹ 广州大学心理与脑科学中心, 广州 510006)

(² 南京师范大学心理学院, 南京 210097) (³ 暨南大学医学院, 广州 510005)

摘要 动作语义理解脑区及前运动皮层是否有严格的对应关系一直处于争论中。这可能与使用不同的语义材料有关。本研究选取描述手部、面部、口部发音和脚部动作的汉语成语以及不包含动作的汉语抽象成语作为语义材料, 要求被试完成 Go/No go 的语义判断任务, 同时采用功能磁共振成像技术, 考察在理解汉语动作成语时, 人的脑区激活情况。结果显示, 动作成语语义理解引起包括顶叶、额叶和颞叶等脑区的活动, 说明汉语动作成语的语义脑区包括顶叶、额叶和颞叶; 涉及身体不同部位的 4 类动作成语分别引起了顶叶和额叶感觉运动皮层的特异性激活。手部和脚部动作成语语义理解主要激活中央前回和前运动皮层; 面部动作成语激活右侧额中回后部和背外侧前运动皮层; 口部成语更多激活背外侧前运动皮层前部, 右侧额下回的布鲁卡区。本研究的结果说明, 汉语中涉及动作的成语语义理解脑区与负责相应动作的感觉运动脑区是拟合的, 汉语动作成语语义理解表现出具身效应。

关键词 具身认知; 动作成语; 语义理解; 镜像神经系统

分类号 B842

1 问题提出

语言理解是借助视觉和听觉的语言材料, 在头脑中建构意义的加工过程, 可以分为语音加工、字形加工、语义加工和句法加工等一系列语言认知过程(Landi, Mencl, Frost, Sandak, & Pugh, 2010; Price, 2012)。长期以来, 人们都希望找到负责语言理解各个环节的脑区定位。早期有关脑损伤病人的研究认为, 语音和语义加工分别是由顶叶和颞叶负责的, 顶下小叶是语音加工中心(Paulesu, Frith, & Frackowiak, 1993), 颞上回和颞中回是语义加工中心(Patterson, Nestor, & Rogers, 2007)。随着 MEG 和 fMRI 等脑成像技术的发展, 人们发现, 左侧额下回也参与了语音和语义加工, 并且在两种加工任务下出现了功能分离(Liakakis, Nickel, & Seitz, 2011; Poldrack et al., 1999), 语义加工任务位于左侧额下

皮质, 语音加工任务在左侧额下回背外侧脑区。左侧额下回功能的元分析指出, 左侧 BA47 区的额下回前端和下部可能跟语义加工有关, 而左侧 BA44/45 区的额下回上部和后端跟语音加工有关(Heim, Eickhoff, & Amunts, 2009; Liakakis et al., 2011)。

有研究者从词性上对语言材料进行区分, 发现形象性的名词和动词在语言理解, 特别是语义理解任务中, 引发了不同的脑激活模式。在理解这些词的时候, 除颞叶、顶叶和前额皮层等传统语言区外, 前运动皮层也会被激活(Kellenbach, Wijers, Hovius, Mulder, J., & Mulder, G., 2002; Martin & Chao, 2001; Pulvermüller, 1999; Pulvermüller, Härle, & Hummel, 2001)。具身语义学(embodied linguistics)观点认为, 概念表征过程中有感觉运动脑区的参与, 这些脑区决定了概念的意义。例如, 理解“抓”这个词的时候,

收稿日期: 2012-10-22

* 国家自然科学基金(31271113)项目支持。

通讯作者: 叶浩生, E-mail: yehaosheng0817@163.com

手部的感觉运动脑区就会活动;同样,理解“踢”这个词的时候,脚部的感觉运动脑区也会参与。人们把这一认知现象称为语义理解的具身效应(Aziz-Zadeh & Damasio, 2008)。

沿着这一思路,国外研究者进行了大量的研究,来探讨动词语义理解的具身效应。他们采用行为动词,或者描述行为的语句作为刺激,通过视觉或者听觉呈现这些刺激,来寻找语言理解的相关脑区(Buccino et al., 2005; Desai, Binder, Conant, & Seidenberg, 2010; Hauk, Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Pulvermüller, 1999; Pulvermüller, Cook, & Hauk, 2012; Raposo, Moss, Stamatakis, & Tyler, 2009; Rodriguez, McCabe, Nocera, & Reilly, 2012; van Dam, Rueschemeyer, & Bekkering, 2010)。结果发现,理解描述肢体动作的词语或句子时,负责肢体动作的运动脑区也出现激活(如表 1 所示)。Pulvermüller 等人(2001)最早采用 ERP 技术研究行为动词加工的神经机制。他们发现,不同类型动词的加工速度和激活脑区是有区别的:面部动作动词加工速度较快,而腿部动作动词的加工速度较慢;并且,理解行为动词时激活的运动脑区和执行该动作的运动脑区基本是一致的。

Hauk 等(2004)在之前 ERP 研究的基础上,使用 fMRI 技术,研究理解手部、脚部和面部行为动词时的脑神经活动。他们发现,理解手部和脚部动词时激活了运动脑区,这些运动脑区与执行该动作的运动脑区基本一致。但是,对于面部动词来说,虽然他们选择的动作定位任务(动舌)和面部动词(如咬、咀嚼、叹气)是一致的,但面部动作定位任务和面部动词语义理解任务激活的脑区并没有很好地拟合。在比较了面部动词和腿部动词语义理解的激活脑区后发现,前者比后者更多激活了额中回和额下脑区(Pulvermüller, Shtyrov, & Ilmoniemi, 2005)。额下回的布鲁卡区是运动语言脑区,负责言语表达;BA8 区的额中回主要负责额眉处的肌肉活动和眼动(Petrides, Cadoret, & Mackey, 2005)。我们认为,Hauk 等人选用的面部动词可能包含了面部动作和口部动作。

动词语义理解的具身效应还存在争议。在德国的一项研究发现,简单行为动词(如“grasp”,抓)的语义表征伴随运动脑区的活动,而抽象动词(如“grasp the interpretation”,理解)的语义加工没有激活运动脑区(Rüschemeyer, Brass, & Friederici, 2007)。他们认为,动词的含义会受到语境的影响,

表 1 动作具身语义理解与感觉运动脑区的关系

第一作者(年份)	材料	感觉运动脑区(NNI)					
		中央前/后回	颞中回	顶下小叶	额中回	额下回	额上回
手部动作语义理解							
Tettamanti (2005)	句子	-30/-2/56	-40/-58/4	-60/-34/32			
Desai (2010)	句子	-57/32/32	-49/-55/-1				
Raposo (2009)	句子	-44/-14/56					
Hauk (2004)	单字动词	-38/-20/48			32/12/48		
Pulvermüller (2012)	动词短语	-42/-6/48					
Raposo (2009)	单字动词	36/-14/46		-44/-36/44			
Hauk (2011)	单字动词	-50/-8/50	-56/-66/6			-58/-18/22	
脚部动作语义理解							
Tettamanti (2005)	句子	-30/-2/56	-58/-62/4	-64/-32/28			-26/4/64
Raposo (2009)	句子	-6/-26/68					6/-22/64
Hauk (2004)	单字动词	-22/-34/62					0/8/52
Pulvermüller (2012)	动词短语	-44/0/50					
Raposo (2009)	单字动词	-6/-16/72					
面部动作语义理解							
Tettamanti (2005)	句子	-30/-2/56		-60/-34/32		-52/10/16	
Pulvermüller (2012)	动词短语					-50/20/16	
口部动作语义理解							
Tettamanti (2005)	句子	-30/-2/56	-58/-62/0	-60/-34/32		-56/12/12	

注:表中显示的是动作语义理解与动作定位任务激活一致的脑区峰值点坐标

抽象动词短语中动词的动作含义被掩盖, 所以不会有感觉运动脑区的活动。这样看来, 似乎行为动词语义理解的具身效应仅局限于简单动词和描述动作的简单语句。但是, Lakoff 和 Johnson(1999)认为, 抽象动词的含义也是根据身体经验建立起来的。抽象动词中的动作语义不会受到语境的影响, 也应表现出具身通道效应。因此, 有必要从更广泛的角度来揭示动词语义理解的具身效应。具体来说, 就是使用不同语种、语境下的动词语义材料, 考察动词语义理解的具身效应。

目前, 动词具身语义理解研究大多采用英语等西方字母文字作为材料, 有关汉语动词的具身语义理解的研究还不多见。汉字不同于英语等西方文字, 比如英语单词是由字母组成的, 它包括一个或多个音节; 汉字是一笔一划的方块字, 一般是由声旁和形旁共同组成的(Wu, Ho, & Chen, 2012), 汉字中的声旁表音, 形旁指义。例如, “扌”偏旁可以表示手部动作, 这些偏旁可以为被试提供语义线索(Hsiao, Shillcock & Lavidor, 2007)。因此, 抽象意义的汉语动词在语义线索提示下, 可能会表现出具身效应。

杨洁和舒华(2011)选用一些单字动词, 并把它们分为三类: 一类是不涉及工具的手部动词(hand verb, HV), 如“掐”、“抚”、“抛”; 第二类涉及工具, 但强调手部动作的动词(tool verb but emphasized hand, TVH), 如“搅”、“扫”、“挖”; 第三类是强调工具的动词(tool verb and emphasized tool, TVT), 如“削”、“绑”、“剃”等。被试完成 Go/No go 的声调判断任务, 对阳平音动词按键反应。结果显示, 三种动词均激活了双侧前运动皮层, 以及左侧顶下小叶; 并且, 手部行为动词(HV)比工具行为动词(TVH)引起的运动脑区活动更为明显。我们认为, 该研究中的 Go/No go 的语音判断任务可能对语义任务造成影响。即使没有阳平音动词出现的情况下, 被试仍有可能进行语音加工。因此, 汉语单字动词语义理解与感觉运动脑区的关系还有待进一步商榷。但不可否认的是, 这项研究开启了汉语动词具身语义理解的先河。

成语是汉语中较为精炼的语言, 它同时也具有汉语的句法结构, 如动宾结构和主谓结构等(Liu, Li, Shu, Zhang, & Chen, 2010), 这些完整的句法结构保证了成语语义的确定性。另外, 成语句法结构紧密, 被试在加工成语时通常把它作为一个整体, 不容易受到语义整合等加工过程的影响(王德春, 1983), 从而避免了其它语言加工过程的影响。通过词语评价, 我们选择了为人们所熟知的成语, 它们

的语义比普通的句子更加突出, 加工难度较句子低。并且, 四字成语与英语中的动词词组结构类似, 语境复杂程度相近(Zhang, Yang, Gu, & Ji, 2013)。感情色彩鲜明的形容词加工存在“隐喻一致效应”, 当褒义成语出现在屏幕上方, 或贬义成语出现在下方时, 被试的反应更快、更准。说明成语的感情色彩加工存在具身效应(张积家, 何本炫, 陈栩茜, 2011)。中国现代汉语中有许多描述动作的四字词组, 它们也涉及身体, 如“手舞足蹈”、“高谈阔论”、“眉开眼笑”、“高抬贵手”等。在理解包含动作含义的成语时, 这些动作成语中的动词可能会提供更多的语义线索, 凸显出动作的本义, 也应表现出具身通道效应(叶浩生, 2011)。那么, 理解包含有手部、脚部、面部和口部发音动作的汉语四字成语时, 是否产生对应躯体运动脑区的活动呢? 本研究选用包含有手部、面部、口部发音和脚部动作的四字成语作为材料, 探讨汉语动词语义理解的具身效应。一方面, 可以提高对人类的语义理解神经系统的认识; 另一方面, 可以在单字动词研究的基础上, 进一步推动汉语动词语义理解的具身效应研究, 展示身体在语言理解等认知过程中的作用。

2 方法

2.1 被试

13 名身体健康的大学生, 其中男生 8 人, 女生 5 人, 年龄介于 23 至 26 岁之间, 平均年龄 24.5 (± 0.92) 岁。被试裸眼视力正常, 没有参加过类似实验。实验开始前, 被试填写左右利手问卷和被试基本信息表。所选被试均为右利手, 没有精神病和神经性疾病史。脑成像实验获得了知情同意。主试交待指导语, 被试明白后进行练习, 熟悉实验任务。被试完成实验后, 均给予一定的报酬。

2.2 实验材料

从《现代汉语词典》(商务印书馆, 第 5 版)中选取包含有动作的成语 181 个。根据成语意思中包含的动作, 把成语分为 5 种类型, 分别为手部行为动词、面部行为动词、口部发音行为动词、脚部行为动词, 以及不包含有明显肢体动作的抽象行为动词。实验前, 请 10 名被试对成语进行评定, 评价问卷中包括以下问题: (1)成语的熟悉性(1~5 个等级, 1=不知道成语含义, 没有使用过 5=知道成语的确切含义, 经常使用); (2)成语的形象性(1~5 个等级, 1=想象不出成语中包含的动作 5=成语中包含的动作很清晰); (3)成语中是否涉及身体动作, 是身体哪

部分做出的动作,与该部分身体的相关性程度(1~5个等级,1=不知道成语中表达的动作与身体的哪部分相联系,5=动作明显是由身体这部分做出的)。

经过评价,获得每种类型成语与相应肢体活动的平均相关程度,删除与相应肢体运动联系不大的成语(如“忍俊不禁”)和包含多种肢体动作的动词成语(如“手舞足蹈”),得到150个成语,各类成语与躯体动作的相关程度如图1所示。另外,重复测量方差分析显示,各类成语的熟悉性没有显著性差异, $F(1, 5)=2.718, p>0.05$; 除抽象动作成语外,手部、脚部、面部和口部发音动作成语的形象性没有显著差异, $F(1, 4)=4.316, p>0.05$ 。

2.3 实验程序

采用单因素被试内实验设计,自变量为肢体动作成语,分为5个水平:手部动作成语、脚部动作成语、口部发音动作成语、面部动作成语和抽象动作成语各30个。使用两种伪随机的顺序呈现刺激,以此平衡刺激呈现过程中的顺序效应。要求被试注视屏幕中央,理解出现在屏幕上四字成语的意思,并且完成Go/No go语义判断任务;当与口部发音相关的成语出现时,被试迅速按动固定在食指上的按键,用这种方法保证被试对所有的词进行语义加工,并防止心理模拟的产生(van Dam et al., 2010)。另外,实验材料中包括两种基线水平的刺激符号各15个,分别为“/ / / /”和“# # # #”。要求被试在看到第一种符号时,不做任何反应,当看到第二种符号的时候,用食指按键反应。符号或者成语在屏幕上呈现时间为2000 ms,之后,屏幕中央出现“+”,呈现时间为2000 ms。当被试在2000 ms内按键反应,成语或者符号就会在屏幕上消失,剩余的刺激呈现时间会自动顺延到“+”呈现时间中去,保证每个trial的时间为4000ms。两种伪随机顺序的第一个刺激均为基线符号。

2.4 fMRI 数据采集与分析

利用德国西门子公司的3-Tesla MR获得被试脑活动图像数据。采用梯度回波平面成像序列(echo planar Imaging, EPI)进行功能像的采集。其中, $TR = 2000 \text{ ms}$, $TE = 30 \text{ ms}$, $FA = 90^\circ$, 30层,层厚4 mm, $FOV = 240 \times 240 \text{ mm}$,共采集720 s,360个TR。实验开始,要求被试平静放松地躺于扫描仪内,保持清醒,闭眼,平静呼吸,不要刻意进行某种特定的思维活动。被试的头部固定,通过固定在头部线圈上的平面镜观看投影仪呈现出的刺激图像。

fMRI数据的处理包括预处理和统计分析两个部分。在MATLAB 7.6平台上,采用基于广义线性模型(general linear model)的SPM8工具箱对fMRI数据进行预处理。首先,对每个被试的fMRI数据进行时间校正和头动校正,以排除头部平动大于1 mm、转动大于 1° 的被试。然后,将校正后的图像进行标准化,采用SPM自带的EPI模板,归一化到标准的MNI (montreal neurological institute)系统,并以 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 大小的体素重采样;然后使用全宽半高值为8mm的高斯核函数进行平滑,以降低空间噪声。模型估计包括1-level和2-level两个水平。1-level参数模型包括7种条件,分别是基线1、基线2、手部动词、脚部动词、面部动词、口部发音动词、抽象动词。我们把每个被试的错误反应和头动校正产生的6个头动函数作为一种条件放入模型中,但不对其进行分析。采用简单线性模型构建每个被试所有实验条件的多重回归设计矩阵。在2-level水平上,我们采用Flexible factorial设计,在1-level的基础上建立参数模型。2-level水平上的参数模型包括两个因素。因素一为被试,属于被试间变量;因素二为7种实验条件,属于被试内变量。模型估计后,使用SPM软件作ANOVA分析和组内成语理解任务之间的 t 检验,并采用

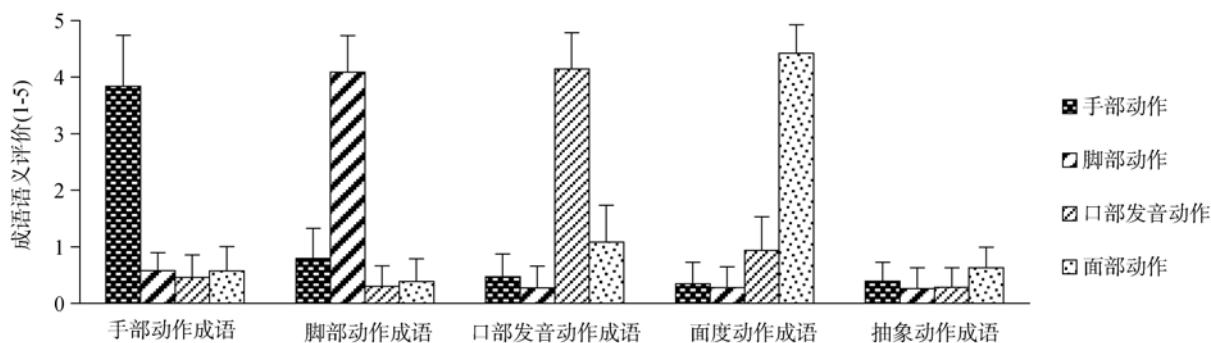


图1 成语语义与躯体动作相关度评价

AlphaSim 校正, 将体素水平 $p<0.001$, 且体素数大于 39 的脑区定义为激活脑区。

为了控制 go/no-go 任务本身的影响, 采用手部、面部、口部发音和脚部动作成语理解任务间的比较获得各自的特异激活脑区。手部动作成语与 base1 比较(即 hand>base1), 得到理解手部动作成语时的激活脑区以及手部动作成语与基线符号的差异; 口部动作成语与 base2 比较(即 mouth>base2), 得到理解口部动作成语时的激活脑区以及口部动作成语与基线符号的差异。(hand>base1)>(mouth>base2)消除了动词与基线符号之间的差异, 得到理解手部动作成语相对于理解口部发音动作成语特异激活脑区。手部动词成语分别与面部和脚部动作成语相比较(即 hand> face & feet), 得到理解手部动作成语相对于面部和脚部动作成语的特异激活脑区。使用 MarsBar 0.43 (在 Matlab2010 平台上运行的脑激活图像分析软件 <http://marsbar.sourceforge.net/>)获得脑激活图。首先, 抽取手部相对口部动作成语的特异激活脑区 hand>mouth, 然后与手部相对于面部和脚部的特异激活脑区叠加, 即 hand>mouth masked by hand>face& feet, 最终得到手部动作成语语义理解的脑激活图像。按照同样的思路和方法, 获得面部和脚部动作成语理解的激活脑区。口部发音动作成语理解任务激活脑区分别与手

部、脚部和面部动作成语相比较, 得到口部发音动作成语激活的特异性脑区, 把比较后的脑区相叠加, 得到口部发音动作成语语义理解的激活脑区。由于成语和基线符号呈现时间与 TR 时间均是 2000 ms, 刺激呈现时间间隔也没有随机化处理。因此, 我们只做了 4 种动作成语语义理解任务间的比较, 同时使用 MarsBar 抽取了 4 种动作成语语义理解的脑激活图像, 没有进一步抽取 β 值, 进行 ROI 分析。

3 结果

ANOVA 分析结果表明, 动作成语语义理解激活的脑区主要分布在双侧枕叶、左侧楔前叶和双侧顶下小叶, 部分额叶和少部分的颞叶也有明显的激活。fMRI 扫描显示, 成语理解的加工过程中出现了两种神经网络的活动。其中, 手部、面部和脚部动作成语激活区域分布在双侧的顶下小叶, 以及额叶的前运动皮层, 即顶叶-额叶-颞叶联合皮层。口部发音动作成语主要激活枕叶舌回, 额下回的岛盖部 (pars opercularis) 和三角部 (pars triangularis, BA44/45), 左侧 BA22 区的颞上回也出现了激活(见表 2), 即枕叶-额叶-颞叶联合皮层。

据成语理解任务之间的比较, 不同成语理解任务下, 各个脑区的激活程度也有差异, 主要表现在枕叶、顶叶和额叶(见表 3)。手部动作成语理解任

表 2 动作成语理解激活脑区(不包含口部成语)

激活脑区	B A	激活量	M N I 坐标			最大激活点 F 值
			x	y	z	
Inferior Occipital Lobe	18	931	45	-78	-6	32.93
			33	-81	-12	28.35
Lingual Gyrus	17	1182	-18	-93	-6	50.85
Precuneus	7	473	-9	72	42	31.52
			9	-66	42	31.52
Inferior Parietal Lobe	40	1952	-45	54	51	35.01
			-42	-45	57	27.16
			51	-42	39	34.94
			42	-54	57	34.93
Postcentral Gyrus	2	1876	-57	-30	45	30.88
Precentral Gyrus	44	628	54	12	9	20.97
Insula			42	3	3	18.03
Cingulate	—	665	0	-30	27	30.55
			0	-27	45	20.33
Middle Frontal Gyrus	8	447	-33	24	45	22.22
Precentral Gyrus	4	49	-48	0	54	16.98
Middle Frontal Gyrus	6		-51	3	45	10.42
Infeirior Temporal Gyrus	20	166	-57	-27	-24	15.94
Middle Temporal Gyrus			-54	-39	-15	14.01
Fusiform Gyrus	37	39	-39	-45	-24	15.15

表 3 手部、面部、口部和脚部动作成语理解的激活脑区

激活脑区	B A	M N I 坐标			最大激活点 t 值
		x	y	z	
hand>mouth					
Inferior Parietal Lobe	40	−39	−48	42	9.64
		54	−42	39	8.45
Precuneus	19	−30	−75	42	5.06
Cingulate Gyrus	—	0	−30	30	8.84
hand>face & feet					
Inferior Parietal Lobe	40	60	−45	39	8.19
		42	−51	54	7.90
		−48	−54	45	7.98
Postcentral Gyrus	2	−57	−30	45	7.84
Precentral Gyrus	44	54	12	9	6.10
Middle Frontal Gyrus	9	30	33	30	5.46
Inferior Temporal Gyrus	20	−57	−27	−24	5.53
face>mouth					
Inferior Parietal Lobe	40	−36	−48	39	7.72
Precuneus	7	−3	−72	51	5.45
Superior Frontal Gyrus	8	33	24	54	4.66
Middle Frontal Gyrus	6	21	18	60	4.33
Inferior Temporal Gyrus	20	54	−54	15	5.67
face>hand & feet					
Precentral Gyrus	6	−51	3	45	4.45
Inferior Temporal Gyrus	18	48	−78	−6	5.72
Inferior Occipital Gyrus	18	36	−84	−12	5.68
Lingual Gyrus	17	−18	−93	−6	6.22
mouth>hand					
Lingual Gyrus	17	−18	−93	−6	12.22
Middle Frontal Gyrus	6	−18	0	42	3.81
Inferior Frontal Gyrus	46	−51	42	6	4.23
	47	−51	48	−6	4.20
Middle Temporal Gyrus	22	−60	−12	−15	3.75
mouth>face & feet					
Middle Occipital Gyrus	—	27	−93	−6	8.81
Inferior Occipital Gyrus	—	−39	−90	−9	7.50
Middle Occipital Gyrus	19	30	−99	9	6.46
feet>mouth					
Superior Parietal Lobe	7	27	−69	51	5.72
Inferior Temporal Gyrus	20	54	−51	−15	5.70
Superior Frontal Gyrus	8	36	24	54	5.06
Middle Frontal Gyrus	6	−24	−6	45	4.04
feet>hand & face					
Middle Occipital Gyrus	19	−27	−96	9	7.84
Lingual Gyrus	17	−15	−93	−6	7.55
Fusiform Gyrus	37	−39	−45	−24	4.50
Precentral Gyrus	6	−42	−6	42	4.20

务激活脑区主要分布在双侧的顶下小叶, $t=9.64$, $p<0.001$; 额叶的激活范围也比较大, 包括左侧额中回, 从前运动皮层一直延伸到额极, 几乎包括了整个额中回; 右侧的额中回和额下回的后部和三角部, 也就是右侧的布鲁卡区, 中央前回和中央后回都有激活; 与其它三类动词成语理解任务相比, 枕叶没有显著性激活。口部发音动作成语理解任务激活脑区则集中在枕叶和舌回, $t=8.81$, $p<0.001$; 左侧额中回后部的背外侧前运动皮层, 以及额下回的 BA45 区和 BA47 区的腹内侧前额叶皮层(VLPFC) 都有激活; 与其它三类成语理解任务相比, 口部发音动作成语没有引起顶叶的显著激活。面部和脚部动作成语激活脑区相似, 二者与口部成语理解任务相比, 顶叶活动较强, 但枕叶激活不及口部成语; 具体来说, 面部成语与手部成语相比较, 除枕叶之外, 左侧额中回后部的背外侧前运动皮层和中央前回也有少量激活。脚部成语与手部成语相比较, 除枕叶和舌回之外, 左侧额中回后部的前运动皮层也有激活。

手部动作成语的激活脑区主要集中在双侧的顶下小叶后部, 左侧楔前叶, 额下回后部(pars opercularis/BA46)与中央前回的联合脑区, 中央后回(BA2), 以及位于前运动皮层前部的额中回(BA8/9)和左侧颞下回(见图 2)。脚部动作成语理解激活脑区集中在双侧的顶上小叶, 以及左侧额中回后部的背外侧前运动皮层(见图 3)。面部动作成语的激活脑区分布在左侧顶下小叶, 左侧楔前叶, 背外侧前运动皮层前部(BA8)、额上回和额中回后部,

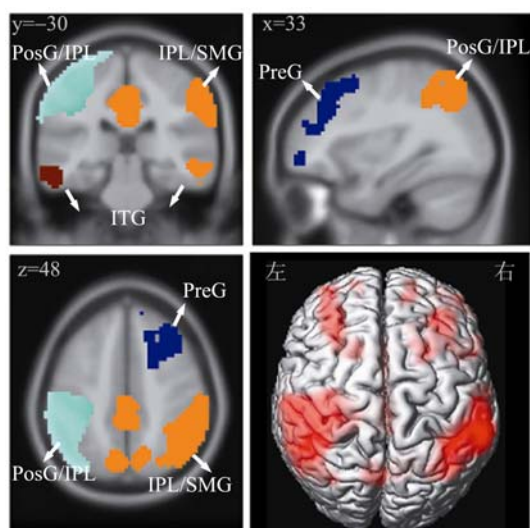


图 2 手部动作成语语义理解脑区
(本图是彩色, 彩图见电子版)

双侧枕叶, 左侧舌回有较为明显的活动, 左侧额下回和中央前回也有少量激活(见图 4)。参与口部发音动作成语理解的脑区主要分布在双侧枕叶和左侧舌回, 左侧额中回后部的前运动皮层, 左侧额下回岛盖(BA46)和 BA47 区的额下回的少量区域也被激活, 左侧颞叶和中央前回也有少量的神经活动(见图 5)。

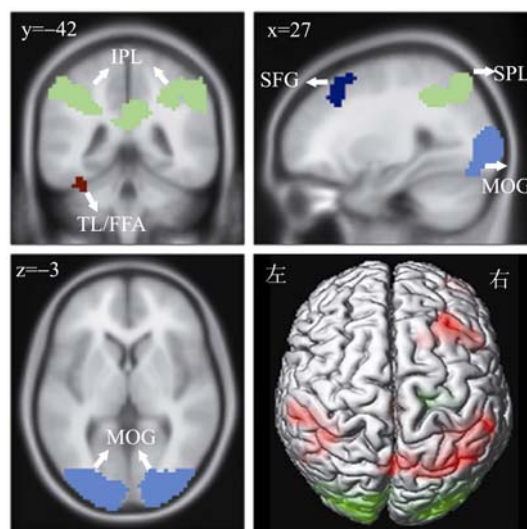


图 3 脚部动作成语语义理解脑区
(本图是彩色, 彩图见电子版)

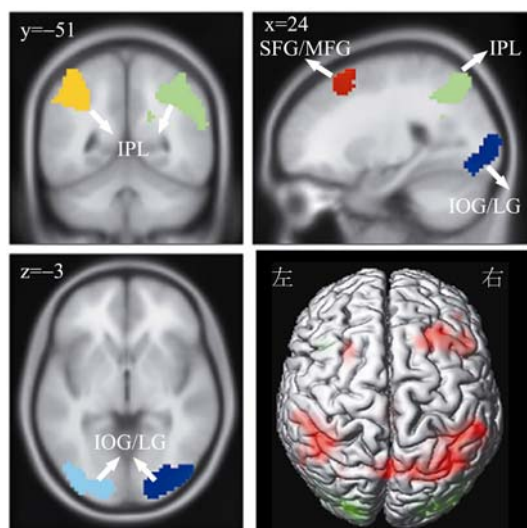


图 4 面部动作成语语义理解脑区
(本图是彩色, 彩图见电子版)

4 讨论

从总体上说, 我们的研究发现手部、面部、口部发音和脚部动作的成语, 激活脑区主要分布在双

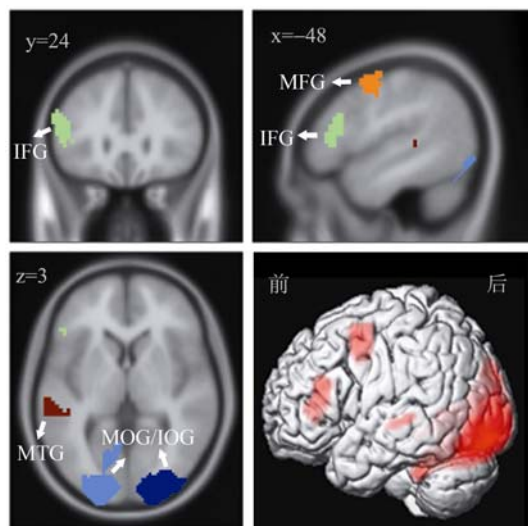


图5 口部发音动作成语语义理解脑区
(本图是彩色, 彩图见电子版)

侧枕叶、左侧楔前叶和双侧顶下小叶, 部分额叶和少部分的颞叶也有明显的激活。4 种动作成语的语义理解任务激活了两种不同的神经环路: 顶叶-额叶-颞叶联合皮层和枕叶-额叶-颞叶联合皮层。前者更多参与了手部动作成语理解任务, 后者更多参与了口部发音动作成语理解任务。面部和脚部动作成语理解激活脑区没有很大区别, 两种任务下顶叶和枕叶的活动居于手部和口部成语之间。四类动词成语语义理解引起的额叶和顶叶神经系统的特异性活动, 说明动词成语的语义理解存在具身效应。

4.1 手部和脚部动作成语理解脑区及其具身效应

手部和脚部动作成语语义理解主要激活双侧躯体感觉皮层后部的顶下小叶, 中央后回, 前运动皮层, 额下回, 额中回, 楔前叶, 以及颞叶。有人对语义理解的脑成像研究进行分析, 认为可以把语义理解脑区定位在额叶、顶叶、颞叶和边缘皮层。具体来说, 包括位于额上回和额中回之间的背外侧中部前额叶皮层(dorsomedial prefrontal cortex, DMPFC), 额下回的眶部(pars orbitalis), 腹内侧和眶部前额叶皮层(ventromedial and orbital prefrontal cortex), 双侧顶下小叶后部(posterior inferior parietal lobe), 颞叶侧部的颞中回和颞下回后部, 以及角回和缘上回等边缘脑区(Binder, Desai, Graves, & Conant, 2009)。国内学者采用汉字作为材料, 研究成年人汉字语义理解的神经活动, 发现左侧的额下回、颞中回后部、梭回和顶下小叶有较强的活动(Fan, Lee, & Chou, 2010)。可以看出, 手部和脚部动作成语语义理解任务激活脑区与一般语义

理解系统基本一致。

手部动作成语的激活脑区主要集中在双侧的顶下小叶后部, 额下回后部与中央前回的联合脑区, 中央后回, 以及位于额中回后部的背外侧前运动皮层。这一结果与 Hauk 等人的研究结果基本一致(见表 1)。他们也发现, 手部相关动词激活双侧额中回后部的背外侧前运动皮层和左侧中央前回(Hauk et al., 2004; Hauk & Pulvermüller, 2011)。但是, Hauk 等人的研究中, 没有发现手部动词引起的顶叶激活。被试在完成手部动作的语义生成任务(semantic generation task)时, 除了双侧额上回、额中回、额下回的三角部之外, 双侧顶上小叶和右侧顶下小叶也会出现激活(Esopenko et al., 2012)。被试在听单个的手部动词比动作短语和动作语句时的脑区激活明显, 峰值激活点位于左侧顶下小叶和右侧中央前回。采用听觉单独呈现动作语句时, 描述手部和脚部动作的句子也激活了左侧顶下小叶(Tettamanti et al., 2005)。这些研究说明, 顶下小叶与手部动作词语的语义理解任务存在一定的相关。本研究采用包含动作语义的成语作为刺激材料, 手部动作成语的语义理解引起双侧中央后回顶下小叶、额下回后部的中央前回, 以及额中回后部的背外侧前运动皮层的显著性激活。这些脑区隶属手部的感觉运动皮层, 以往的研究也发现了这些脑区与手部动词语义理解的关系(Esopenko et al., 2012; Hauk et al., 2004; Hauk & Pulvermüller, 2011)。具身语义学观点认为, 手部动词的语义理解会激活负责手部动作的感觉运动皮层。因此, 手部感觉运动皮层的活动与手部动作成语理解的关系说明了手部动作成语语义理解的具身效应。

脚部成语比手部成语更多激活了枕叶和舌回, 以及左侧靠近脑中线位置的背外侧前运动皮层和中央前回; 与面部和口部成语相比, 脚部成语更多激活了双侧顶上小叶和额中回的背外侧前运动皮层。Hauk 等人的研究也发现, 脚部动词激活左侧靠近中央线的中央前回、中央后回和前运动皮层, 但仍然没有发现顶叶激活(Hauk et al., 2004)。Raposo 等人的研究也没有发现脚部动词和脚部动作语句与顶叶的关系(Raposo et al., 2009)。但是, 在有关动作语义生成任务的研究中, 脚部动作定位和脚部动作语义生成任务共同激活了顶上小叶等脑区(Esopenko et al., 2012); 描述腿部动作的语句激活大脑左半球背外侧前运动皮层, 以及左侧的顶下小叶(Tettamanti et al., 2005)。在本研究中, 手部和脚

部成语均引起双侧顶叶的激活, 脚部成语的峰值激活点位于右侧靠近中央线位置的顶上小叶(27, -69, 51), 手部成语的峰值激活点位于左侧顶下小叶(-39, -48, 42)。脚部成语与手部成语相比, 除了枕叶和舌回外, 左侧中央前回也有小部分的显著激活(-42, -6, 42); 手部成语与脚部成语相比, 除了顶叶和额中回外, 中央后回和中央前回(54, 12, 9)也出现了激活。由此可见, 脚部成语在顶叶和额叶的激活与手部成语相比较, 前者更接近背外侧的中线位置, 与手部和脚部运动脑区的组织分布是一致的。也就是说, 脚部动作成语理解引起了相应感觉运动脑区的活动, 说明脚部动作成语语义理解也表现出具身效应。

4.2 面部和口部发音动作成语理解脑区及其具身效应

在 Hauk 等人的研究中, 面部动作定位任务和面部动词语义理解任务激活脑区并没有很好地拟合。我们认为, 这是由于他们选用的面部动词包含了面部肌肉动作和舌的动作, 面部动作定位和面部动词语义理解激活脑区的不一致可能是由于研究者对面部动词划分不够细致引起的。因此, 我们把面部动词进一步划分为与面部肌肉动作有关的面部动词, 和与舌部动作有关的口部发音动词。我们假设, 面部动词和口部发音动词激活的脑区是不同的, 前者应该激活额中回后部的 BA8 区, 后者应该激活额下回的布鲁卡区。

正如我们假设的那样, 相对手部和脚部成语来讲, 面部成语更多激活双侧枕叶, 左侧楔前叶, 右侧额中回后部(BA8)和背外侧前运动皮层; 口部成语更多激活双侧枕叶, 左侧楔前叶, 背外侧前运动皮层前部, 右侧额下回中部, 右侧额下回和中央前回也有少量激活。另外, 面部和口部发音动作成语引发了枕叶的显著激活。以往有研究发现, 手部和脚部动词生成任务除了激活额叶-顶叶-颞叶系统外, 也会激活枕叶 (Esopenko et al., 2012), 被试在听描述手臂动作的语句时, 除了感觉运动脑区激活外, 还有枕叶视觉脑区的参与(Desai et al., 2010)。那么, 枕叶是否也参与了语义加工任务, 它是否也是语义理解神经系统的组成部分呢? 目前, 有关枕叶与语义理解的关系目前尚不明确。国外也没有明确提出枕叶是语义理解神经系统的组成部分。国内学者通过听觉和视觉两种方式呈现语义材料, 语义判断任务均激活了双侧枕叶腹侧区域(单保慈等, 2003)。他们认为, 被试在听到一个汉语词时, 会下意识地想

象词形, 从而引起视觉腹侧的神经活动, 这里的枕叶活动更可能是字形加工导致的。国外也有研究发现, 枕叶可能与语言理解过程中的字形加工有关(Welcome & Joanisse, 2012)。我们认为, 语言理解中的语音、语义和字形加工是相互依赖, 不可分割的过程, 过分强调语言理解过程中各个成分对应的神经结构, 可能就会得到类似枕叶这种模糊的结论。

本研究出现的枕叶活动可能与语义材料中包含的情绪信息有关。研究显示, 枕叶和梭状回对面部表情和情绪比较敏感(Atkinson & Adolphs, 2011; Jehna et al., 2011; van de Riet, Grèzes, & de Gelder, 2009), 枕叶可能参与了情绪信息的加工。本研究选用的面部和口部成语包含有正性和负性的情绪信息(如眉开眼笑、疾首蹙额, 引吭高歌, 大放厥词)。在以后的研究中, 可以对面部成语和口部成语的情绪效价进行控制, 从而进一步确定枕叶在语言理解中的作用。

面部和口部成语没有引起顶叶的显著活动, 可能是镜像神经机制的结果。换句话说, 手部和脚部动词理解引起顶叶和额叶前运动皮层的活动可能是镜像神经元的作用。镜像神经元最早是在猴脑 F5 区发现的, 这类神经元对指向目标的行为比较敏感(Cattaneo & Rizzolatti, 2009; Rizzolatti, 2004)。猴子在观察如“抓”和“扯”等动作时, 位于 F5 区的镜像神经元就会被激活。脑成像研究表明, 人脑的顶叶和额叶的前运动皮层也存在具有类似功能的脑结构(Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008)。当人们看到手部或脚部动作, 或者理解与手部或脚部动作相关的概念时, 顶叶和额叶的前运动皮层就会被激活, 并且其脑神经活动符合运动的躯体特异性分布原则(Cattaneo & Rizzolatti, 2009)。面部表情动作和口部发音动作没有特定的目标指向, 所以顶叶的镜像神经系统没有出现明显激活。

目前, 动作概念语义理解多关注指涉手部、脚部和口部动作动词, 有时也会把口部动词称为面部动词。但无论是口部动词还是面部动词, 其语义动作多是指涉舌部和腮部的。在社会交往过程中, 眼睛、眉和口部都是传达信息的重要部位。本研究选用指涉眼和眉的动作成语(眉开眼笑、疾首蹙额)作为面部动作语义材料, 它们更多激活双侧枕叶、BA6 区的额中回、BA8 区的额上回和 BA44 区的额下回。额上回后部, 前运动皮层前部的 BA8 区与眼部肌肉运动有关(Petrides et al., 2005)。根据具身语义理论, 理解有关眼和眉的面部成语时, 也应该激

活负责眼部肌肉运动的额叶眼动区。因此可以说,面部动作成语语义理解符合具身语义理论假设,表现出具身效应。

口部发音动作成语与手部和脚部动作成语相比,前者更多激活了双侧枕叶,左侧额下回前部(BA44/45)和下部(BA47),左侧额中回后部的背外侧前运动皮层,以及左侧颞上回。额下回是主要的运动语言中枢,额下回岛盖(BA44/45)负责言语的产生。额下回在语言理解中起着非常重要的作用,特别是左侧额下回的功能是语言理解研究的热点(Zhu et al., 2009)。额下回不同脑区分别负责不同的语言加工环节。左侧额下回背外侧,靠近额下沟的位置(BA44/45)主要负责语音加工,腹侧(BA45/47)主要与语义理解有关(Liakakis et al., 2011; Poldrack et al., 1999)。观察和模拟动作也会激活额下回。动作模拟时,额下回岛盖(BA44/45)的背外侧和腹侧都会被激活;但观察动作时,额下回岛盖没有出现激活。额下回三角部在动作观察时会出现激活,但动作模拟不会激活该脑区。据此,有人提出,额下回的三角部也是人类镜像神经系统的组成部分(Molnar-Szakacs, Iacoboni, Koski, & Mazziotta, 2005)。还有研究者发现,额下回的布鲁卡区在理解手部、脚部和口部动作语句时都被激活。由此他们推测,布鲁卡区也是人类镜像神经系统(Tettamanti et al., 2005),这样就可以解释听到和看到与动作有关的语义信息时,或者观察动作时,感觉运动皮层会产生特异性激活(Aziz-Zadeh & Damasio, 2008; Buccino, 2005; Desai et al., 2010; Macuga & Frey, 2011; Pulvermüller et al., 2005; Raposo et al., 2009; Tettamanti et al., 2005)。研究显示,额下回布鲁卡区在理解句子时的激活不同于动词理解。理解动作语句时,额下回更多的是负责句意的整合(Huang et al., 2012; Zhu et al., 2009),并非纯粹是由动作语义加工导致的。在本研究使用四字成语作为材料,并且只有口部成语引起了左侧额下回的相对显著的激活。可以说明,额下回的激活是由语义理解任务引起的,被试在看到有关口部发音的成语时,可能整合了“引吭高歌”、“高谈阔论”的经验信息,从而导致了负责运动语言中枢的活动。所以说,口部发音动作成语语义理解的激活脑区也符合具身语义学的假设,表现出具身效应。

5 结论

本研究改进了动词具身语义理解的语义材料,

对面部动作和口部发音动作进行更细致的区分。采用传统的 Go/No go 的语义判断任务,考察动作成语语义理解的相关脑区和具身效应。动作成语语义理解激活了顶叶、额叶和颞叶语义系统,以及额叶的感觉运动皮层。语义理解可能受到个体过去经验的影响,表现出具身效应。研究结果表明,身体限制着认知的特征与范围,身体结构和身体的活动能力限制了语义表征的性质和内容(叶浩生, 2013)。根据 Lakoff 的观点,凡与身体动作有关的动词语义都是通过身体感觉经验建立起来的。那么,字面义中包含身体动作、隐喻义中不包含身体动作的成语(如 稳操胜券)是否也会表现出具身效应。更进一步讲,感觉运动脑区的激活程度是否与语义动作的显著性程度表现出一致性呢。我们认为,这些问题都是值得继续研究的,它可以帮助我们认识身体与认知之间的关系。

参 考 文 献

- Atkinson, A. P., & Adolphs, R. (2011). The neuropsychology of face perception: Beyond simple dissociations and functional selectivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 366(1571), 1726–1738.
- Aziz-Zadeh, L., & Damasio, A. (2008). Embodied semantics for actions: Findings from functional brain imaging. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), 35–39.
- Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W., & Conant, L. L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional Neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 19(12), 2767–2796.
- Buccino, G., Riggio L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 355–363.
- Cattaneo, L., & Rizzolatti, G. (2009). The mirror neuron system. *Archives of Neurology*, 66(5), 557–560.
- Desai, R. H., Binder, J. R., Conant, L. L., & Seidenberg, M. S. (2010). Activation of sensory-motor areas in sentence comprehension. *Cerebral Cortex*, 20(2), 468–478.
- Esopenko, C., Gould, L., Cummine, J., Sarty, G., Kuhlmann, N., & Borowsky, R. (2012). A neuroanatomical examination of embodied cognition: Semantic generation to action-related stimuli. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 84.
- Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiology*, 23(3), 171–179.
- Fan, L. Y., Lee, S. H., & Chou, T. L. (2010). Interaction between brain regions during semantic processing Chinese adults. *Language and linguistics*, 11(1), 159–182.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301–307.
- Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2011). The lateralization of motor cortex activation to action-words. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 149.
- Heim, S., Eickhoff, S. B., & Amunts, K. (2009). Different roles

- of cytoarchitectonic BA 44 and BA 45 in phonological and semantic verbal fluency as revealed by dynamic causal modelling. *Neuroimage*, 48(3), 616–624.
- Huang, J., Zhu, Z. D., Zhang, J. X., Wu, M. X., Chen, H. -C., & Wang, S. P. (2012). The role of left inferior frontal gyrus in explicit and implicit semantic processing. *Brain Research*, 1440, 56–64.
- Hsiao, J. H. W., Shillcock, R., & Lavidor, M. (2007). An examination of semantic radical combinability effects with lateralized cues in Chinese character recognition. *Perception & Psychophysics*, 69(3), 338–344.
- Jehna, M., Neuper, C., Ischebeck, A., Loitfelder, M., Ropele, S., Langkammer, C., ... Enzinger, C. (2011). The functional correlates of face perception and recognition of emotional facial expressions as evidenced by fMRI. *Brain Research*, 1393, 73–83.
- Kellenbach, M. L., Wijers, A. A., Hovius, M., Mulder, J., & Mulder, G. (2002). Neural differentiation of lexico-syntactic categories or semantic features? Event-related potential evidence for both. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(4), 561–577.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought* (p. 21). New York: Basic Books.
- Landi, N., Mencl, W. E., Frost, S. J., Sandak, R., & Pugh, K. R. (2010). An fMRI study of multimodal semantic and phonological processing in reading disabled adolescents. *Annals of Dyslexia*, 60(1), 102–121.
- Liakakis, G., Nickel, J., & Seitz, R. J. (2011). Diversity of the inferior frontal gyrus-A meta-analysis of neuroimaging studies. *Behavioral Brain Research*, 225(1), 341–347.
- Liu, Y. Y., Li, P., Shu, H., Zhang, Q. R., & Chen, L. (2010). Structure and meaning in Chinese: An ERP study of idioms. *Journal of Neurolinguistics*, 23(6), 615–630.
- Macuga, K. L., & Frey, S. H. (2011). Selective responses in right inferior frontal and supramarginal gyri differentiate between observed movements of oneself vs. another. *Neuropsychologia*, 49(5), 1202–1207.
- Martin, A., & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: Structure and processes. *Current Opinion in Neurobiology*, 11(2), 194–201.
- Molnar-Szakacs, I., Iacoboni, M., Koski, L., & Mazziotta, J. C. (2005). Functional segregation within pars opercularis of the inferior frontal gyrus: Evidence from fMRI studies of imitation and action observation. *Cerebral Cortex*, 15(7), 986–994.
- Patterson, K., Nestor, P. J., & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(12), 976–987.
- Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 362, 342–345.
- Petrides, M., Cadoret, G., & Mackey, S. (2005). Orofacial somatomotor responses in the macaque monkey homologue of Broca's area. *Nature*, 435, 1235–1238.
- Poldrack, R. A., Wagner, A. D., Prull, M. W., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1999). Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*, 10(1), 15–35.
- Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 62(2), 816–847.
- Pulvermüller, F. (1999). Words in the brain's language. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(2), 253–279.
- Pulvermüller, F., Cook, C., & Hauk, O. (2012). Inflection in action: Semantic motor system activation to noun- and verb-containing phrases is modulated by the presence of overt grammatical markers. *Neuroimage*, 60(2), 1367–1379.
- Pulvermüller, F., Härle, M., & Hummel, F. (2001). Walking or talking?: Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain and Language*, 78(2), 143–168.
- Pulvermüller, F., Shtyrov, Y., & Ilmoniemi, R. (2005). Brain signatures of meaning access in action word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 884–892.
- Raposo, A., Moss, H. E., Stamatakis, E. A., & Tyler, L. K. (2009). Modulation of motor and premotor cortices by actions, action words and action sentences. *Neuropsychologia*, 47(2), 388–396.
- Rizzolatti, G. (2004). The mirror neuron system in monkeys and humans. *Folia Primatologica*, 75, 31–32.
- Rodriguez, A. D., McCabe, M. L., Nocera, J. R., & Reilly, J. (2012). Concurrent word generation and motor performance: Further evidence for language-motor interaction. *Plos One*, 7(5), e37094.
- Rüschmeyer, S. A., Brass, M., & Friederici, A. D. (2007). Comprehending prehending: Neural correlates of processing verbs with motor stems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 855–865.
- Shan, B. C., Zhang, W. T., Ma, L., Li, D. J., Cao, B. L., Tang, Y. Y., ... Tang, X. W. (2003). Chinese semantic processing cerebral areas. *Chinese Science Bulletin*, 48(23), 2607–2610.
- [单保慈, 张武田, 马林, 李德军, 曹丙利, 唐一源, ... 唐孝威. (2003). 汉语语义加工的相关脑区. *科学通报*, 48(21), 2257–2260.]
- Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., & Perani, D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), 273–281.
- van Dam, W. O., Rueschemeyer, S. A., & Bekkering, H. (2010). How specifically are action verbs represented in the neural motor system: An fMRI study. *Neuroimage*, 53(4), 1318–1325.
- van de Riet, W. A. C., Grèzes, J., & de Gelder, B. (2009). Specific and common brain regions involved in the perception of faces and bodies and the representation of their emotional expressions. *Social Neuroscience*, 4(2), 101–120.
- Wang, D. C. (1983). *Lexicology Study in Chinese* (p. 51). Shandong: Shandong Education Press.
- [王德春. (1983). *词汇学研究* (p. 51). 济南: 山东教育出版社.]
- Welcome, S. E., & Joannise, M. F. (2012). Individual differences in skilled adult readers reveal dissociable patterns of neural activity associated with component processes of reading. *Brain and Language*, 120(3), 360–371.
- Wu, C. -Y., Ho, M. -H. R., & Chen, S. -H. A. (2012). A meta-analysis of fMRI studies on Chinese orthographic, phonological, and semantic processing. *Neuroimage*, 63(1), 381–391.
- Yang, J., & Shu, H. (2011). Embodied representation of tool-use action verbs and hand action verbs: Evidence from a tone judgment task. *Neuroscience Letters*, 493(3), 112–115.
- Ye, H. S. (2011). Embodied cognition: A consideration from theoretical psychology. *Acta Psychologica Sinica*, 43(5), 589–598.
- [叶浩生. (2011). 有关具身认知思潮的理论心理学思考. *心理学报*, 43(5), 589–598.]
- YE, H. S. (2013). Cognition and body: A perspective from

- theoretical psychology. *Acta Psychologica Sinica*, 45(4), 481–488.
- [叶浩生. (2013). 认知与身体: 理论心理学的视角. *心理学报*, 45(4), 481–488.]
- Zhang, H., Yang, Y. M., Gu, J. X., & Ji, F. (2013). ERP correlates of compositionality in Chinese idiom comprehension. *Journal of Neurolinguistics*, 26(1), 89–112.
- Zhang, J. J., He, B. X., & Chen, X. Q. (2011). The up-down image schema affects the emotion process of Chinese Idioms. *Psychological Exploration*, 31(2), 144–149.
- [张积家, 何本炫, 陈栩茜. (2011). "上下意象图式"对汉语成语感情色彩加工的影响. *心理学探新*, 31(2), 144–149.]
- Zhu, Z. D., Zhang, J. X., Wang, S. P., Xiao, Z. W., Huang, J., & Chen, H. -C. (2009). Involvement of left inferior frontal gyrus in sentence-level semantic integration. *Neuroimage*, 47, 756–763.

注释:

PreG	precentral gyrus	中央前回	MOG	middle occipital lobule	枕中回
PosG	postcentral gyrus	中央后回	IOG	inferior occipital gyrus	枕下回
MFG	middle frontal gyrus	额中回	IPL	inferior parietal lobule	顶下小叶
SFG	superior frontal gyrus	额上回	SMG	supramarginal gyrus	缘上回
IFG	inferior frontal gyrus	额下回	FFA	fusiform face area	梭状回面孔区
MTG	middle temporal gyrus	颞中回	LG	lingual gyrus	舌回
ITG	inferior temporal gyrus	颞下回			

Embodied Semantic Processing of Chinese Action Idioms: Evidence from fMRI Study

SU Dequan^{1,2}; ZHONG Yuan¹; ZENG Hong^{1,3}; YE Haosheng¹

(¹ Center for Mind and Brain Science, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

(² School of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(³ School of Medicine, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract

There is mixed evidence concerning the processing of word meaning. Early research into language assumed that word meaning was processed in the left temporal lobe. However, more recent research suggests that words are processed by distributed neuronal assemblies.

This fMRI study explores embodied semantic processing and semantic system of Chinese action idioms. In the study, thirteen participants were asked to read one hundred and twenty four-character Chinese idioms, which are related to hand, face, mouth and feet action. Next, the participants were asked to judge whether the idiom's meaning was related to mouth pronunciation. Functional brain imaging was conducted on a Siemens 3.0T scanner while participants performed Go/No go semantic judgment tasks. Imaging data were processed by spm8 software. Multi-comparison tests were conducted between the scores of the semantic comprehension task under four conditions (hand idioms, face idioms, mouth idioms and feet idioms). The activation was corrected by AlphaSim at the threshold of $p < 0.001$ and cluster size > 39 . The brain systems which are engaged in the processing of action idioms related to body parts were tested and Marsbar software was used to create images of the relevant areas of the cortex.

The result showed: (1) when comparing activations for face and mouth idioms with activations for hand and feet idioms, more activations were observed for face and mouth idioms in the bilateral parietal lobe, precentral gyrus, postcentral gyrus, the dorsal premotor of the middle frontal gyrus and superior frontal gyrus, and inferior temporal gyrus; hand idioms caused more activation in the posterior of inferior parietal lobe bilaterally, inferior

frontal gyrus in anterior part of premotor cortex, and middle frontal gyrus and in the dorsal of the premotor cortex; more activations were observed for feet idioms compared to hand idioms in dorsal along the midline and superior parietal lobe. (2) There were more activations for face and mouth idioms in the bilateral occipital lobe, the left dorsal premotor of the middle frontal gyrus and superior frontal gyrus, the pars triangularis in the inferior frontal gyrus and BA47, and in the left lingual gyrus when compared to hand and feet idioms. Superior frontal and middle frontal region of BA8 are activated to a greater extent for face idioms as opposed to mouth idioms. Mouth idioms specifically activated the left Broca and BA47. (3) Chinese action idioms activated prefrontal cortex, parietal lobe, occipital lobe and temporal lobe. But some differences were observed in activation between these regions. More activation was observed in parietal lobe for hand and feet idioms than face and mouth idioms. Face and mouth idioms were found to generate more activation in the occipital cortex than hand and feet idioms. This finding confirmed that the prefrontal-parietal-temporal network is the constitution of semantic system.

The embodied semantics theory, states that verb meaning is represented in the cortex within the same sensory motor circuitry which executes the action. The cortex activation induced by Chinese action idioms in frontal-parietal lobe engaged action execution, and this pattern is consistent with the hypothesis of embodied semantics comprehension theory which indicates that semantic representation on imageable verbs is correlated with the somatotopic activation of motor and premotor cortex. The results demonstrate that semantic comprehension of Chinese action idioms is affected by our experience.

Key words embodied cognition; Chinese action idioms; semantic processing; mirror-neuron system