

·临床研究·

慢性非流畅性失语患者语言加工特征的脑磁图研究*

程少强¹ 江钟立^{1,4} 吴婷² 林枫¹ 徐晓燕³ 陈奇琦² 杨露²

摘要

目的:研究慢性非流畅性失语患者大脑在图片命名过程中神经网络活动特征及与受损语言功能的关系。

方法:非流畅性失语患者及年龄、性别、学历相匹配的健康成年人各5例,分别作为实验组和对照组。使用西方失语症成套测验评估受试者的言语功能,应用脑磁图(MEG)对受试者图片命名过程中大脑语言加工活动进行检测。

结果:比较两组受试者在图片命名过程中相关大脑感兴趣区域(ROIs)在不同时间窗内的激活强度后发现:在图片命名的400—600ms时间窗内非流畅性失语症患者左脑Broca区的激活强度较对照组显著下降($P<0.05$),右脑的Broca同源区、Wernicke同源区、顶下小叶激活强度显著高于对照组($P<0.05$),右Broca同源区的激活强度与患者的失语商(AQ)正相关($r=0.886$, $n=5$, $P=0.045$)。

结论:慢性非流畅性失语患者存在右脑神经网络活动广泛上调,这种泛化在言语输出准备时期最为明显,提示与受损后大脑自发低水平的言语代偿有关。

关键词 慢性非流畅性失语;脑磁图;语言加工;图片命名

中图分类号:R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2013)-06-0538-06

Magnetoencephalography study on language processing characteristics in chronic non-fluent aphasia patients/CHENG Shaoqiang, JIANG Zhongli, WU Ting, et al//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2013, 28(6): 538—543

Abstract

Objective: To explore brain neural network activities during picture naming and the relations of them to impaired language abilities in patients with chronic non-fluent aphasia.

Method: Five patients with chronic non-fluent aphasia and five age-, gender-and education-matched healthy controls were recruited in this study. All behavioral performance was assessed with western aphasia battery (WAB) and brain language processing during picture naming was detected with magnetoencephalography (MEG).

Result: The magnitudes of Broca's area activation were significantly lower in patient group than that in control group ($P<0.05$) during 400—600ms of picture naming by comparison of picture naming-related regions of interest, while the magnitudes of activation in Broca-homologue area, Wernicke-homologue area and inferior parietal lobule of right hemisphere were significantly higher in patient group than those in control group ($P<0.05$). There were significantly correlations between aphasia quotient(AQ) and brain activation in Broca-homologue area in aphasia patients.

Conclusion: Neural network activities of right hemisphere during speech put-out preparation are widely activated in patients with chronic non-fluent aphasia, which is suggestively related to low levels of spontaneous compensatory for language function after brain damage.

Author's address First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University,210029

Key word chronic non-fluent aphasia; magnetoencephalography; language processing; picture naming

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2013.06.011

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(81171854);南京市卫生局资助项目(YKK11033)

1 南京医科大学第一附属医院康复医学中心,210029; 2 南京医科大学附属南京脑科医院脑磁图室; 3 南京市朝天宫社区卫生服务中心; 4 通讯作者

作者简介:程少强,男,硕士研究生; 收稿日期:2012-12-29

语言功能的实现依赖于大脑中广泛分布的神经网络,是大脑复杂的认知活动。大脑受损后(如脑卒中)神经网络会发生一系列变化以适应或代偿功能性缺陷^[1]。目前对卒中后失语大脑自发的功能性调整的研究结果主要来自于功能性磁共振(fMRI)。失语大脑主要存在以下两种代偿方式:①左半球损伤部位及损伤周边区域的募集(recruitment);②右侧非语言优势半球神经网络活动上调^[2-4]。病程、损伤部位及程度、失语类型和语言刺激任务的不同等因素可能在一定程度上造成了研究结果的差异性^[5]。

众所周知,大脑对外界信息进行加工是一个动态的连续过程,一个简单的语言任务往往可以分为若干个子进程。功能性磁共振通过探测神经元活动所引起的血氧饱和度变化对脑功能进行间接的测量,在鉴别语言加工相关脑区方面有较大优势,但其时间分辨率低,不能显示大脑语言加工动态过程,因而不能确定语言加工过程中异常子进程。脑磁图(magnetoencephalography, MEG)作为一种新技术,可以非侵入地、直接地、定量地对脑神经活动进行直接测量,并可将输出结果与磁共振结构像进行融合,使其同时具备良好的时间、空间分辨率^[6]。目前,语言加工(如图片命名,语义加工等)时空特征的脑磁图研究多集中于正常人,国内外文献中尚未见到对

失语症患者大脑语言加工动态过程的研究。为了更好地阐明失语大脑神经网络功能性变化及其与受损言语功能之间关系,本研究应用脑磁图对慢性非流畅性失语患者在图片命名过程中大脑皮质活动进行实时检测,试图揭示慢性非流畅性失语患者大脑语言网络活动特征。

1 对象与方法

1.1 受试者

1.1.1 实验组 5例,其中女性1例,2012年2月—2012年11月期间从南京医科大学第一附属医院康复医学中心住院患者中筛选。平均年龄为(53.0±9.3)岁,平均受教育(10.8±2.4)年,平均卒中后时间(7.4±4.8)个月,卒中后均未接受过正规的言语训练。入组标准为:①首次左半球卒中(由CT或MRI证实);②WAB测试证实存在失语症(失语商<93.8分),并诊断为非流畅性失语;③母语为汉语。排除标准:①构音障碍、失认、偏侧忽略、偏盲及严重的视力或听力障碍;②不能执行本研究所需的语言相关任务(具体见下述语言任务范式);③有MRI检查禁忌证、不能耐受30min的脑磁图及10min磁共振检查。实验组一般资料见表1。

1.1.2 对照组 5例,其中女性1例,为健康成年志愿

表1 实验组一般资料

实验组编号	性别	年龄(岁)	受教育程度(年)	失语类型	卒中后时间(d)	卒中性质	卒中部位
P1	男	50	8	Broca失语	163	出血性	左侧基底核
P2	男	48	12	Broca失语	152	缺血性	左侧额、颞、顶叶
P3	男	42	11	Broca失语	497	缺血性	左侧额、顶、颞叶
P4	女	60	14	经皮质运动性失语	155	出血性	左侧丘脑
P5	男	65	9	经皮质运动性失语	190	缺血性	左侧额、颞、顶、枕叶

者,从患者家属或医院工作人员中招募。平均年龄为(60.4±7.9)岁,平均受教育(9.8±2.0)年。对照组在年龄及受教育程度等方面与实验组匹配(P均>0.2,t检验,双尾)。对照组母语均为汉语,无神经病或精神病史、近未服用过对中枢神经系统有影响的药物。本实验得到南京医科大学伦理委员会的批准,所有受试者在入组前均签署知情同意书。

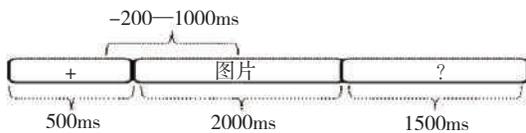
1.2 研究方法

1.2.1 实验刺激:选取45张常见物品或动作的黑白简笔画图片作为MEG刺激材料。采用延迟图片命名任务,考虑到失语患者的执行能力,本研究对Ma-

rina的实验范式^[7]略作改动如图1所示:屏幕上先呈现“+”号500ms,然后出现图片2000ms,图片呈现的同时令患者立刻执行不出声命名(covert naming),当最后出现“?”号时,患者再进行出声命名(overt naming),此为一次试验。以图片呈现的起始作为原点(0ms),采集-200ms至1000ms内的数据。试验间隔为2s,每轮包含100次试验。

1.2.2 行为学评估:对照组及实验组受试者均进行西方失语症成套测验(western aphasia battery, WAB)测试,包括自发言语、听理解、复述及命名四大项目,据此可对失语症患者进行分类,失语商

图1 延迟命名任务实验范式



(aphasia quotient, AQ)大小可反映患者言语功能障碍程度。

1.2.3 MEG 检查前准备及数据采集:采用CTF-275 导全头型MEG系统(加拿大VSM医疗技术公司)采集所有数据。首先在患者的双耳屏前1cm、鼻根处分别固定3个定位线圈,以此来建立一个头部的三维坐标,便于与MRI所获得的大脑结构像进行融合,并有助于利用坐标进行不同切面脑区的精确定位。MEG记录在磁屏蔽室内进行。受试者平卧于检查床上,图片采用Brain X刺激软件^[8](美国cincinnati儿童医院脑磁图中心提供)以伪随机顺序播放后,经过两次镜面反射投影于受试者面前的屏幕上,适当调整屏幕距离及角度使受试者感到舒适。嘱受试者身体放松,尽量避免肢体、头部活动和过频地眨眼。指导语为:请您集中精力注视屏幕,它会依次出现“+”、“图片”、“?”,当出现“?”时请您说出前面看到的那张图片中事物的名字。在正式检查之前对所有受试者均进行了足够的训练以确保受试者能够正确执行该任务。采集信号时,带通频率0.03—100Hz滤过,采样率6000Hz,并在记录前后监测头部的活动,去除头部位移超过0.5cm的信号。

1.2.4 MRI 检查:所有受试者均进行MRI定位,扫描前用外科导航定位标志固定于双侧耳前点与鼻根(与脑磁图定位点相同)。应用美国GE Signa NV/i 1.5T超导型磁共振仪。行3D-SPGR序列扫描,得到T1-SpGR轴位图像,扫描参数如下:

TR/TE/TI= 33/9/17ms, FOV= 24×24×16.2cm, matrix= 256×256×54, Number of Averages=1, Imaging Frequency= 63.849208。

1.2.5 MEG 数据分析:将MEG检查获得的原始数据传输至工作站,将每信号通道所有脑磁波形以图片呈现起始为原点进行重叠,降低样本率到600Hz, 0—40Hz频率带^[9]进行再次滤过。目前有多种磁共振成像技术,本研究选择一种最小方差信号集束算法——合成孔径磁力计(synthetic aperture magne-

tometry, SAM),它可产生刺激或事件相关信号功率变化的统计参数构图(statistical parametric maps, SPMs)。已有较多研究表明由于该方法本身特性,可能更适合于语言研究^[10-11]。

为了较好地显示各个脑区在图片命名过程中活动的序列递进过程,本文根据以往图片命名研究结果^[12-13]并参考假定的图片命名认知子过程^[14],对激活状态(active state)时间窗(0—800ms)先尝试进行分割成像,再反复比对、调整、校正,最终做出如下分割: 0—150ms, 150—275ms, 275—400ms, 400—600ms, 600—800ms,共五个时间窗;设定-200—0ms为对照状态(control state)。将大脑分割后所得的每个体素(5mm×5mm×5mm)激活状态与对照状态进行pseudo Student t检验后,进行基于t值的统计参数构图(SPM),输出功能体积像重叠于各自建模后的MR图像上,得到感兴趣脑区最大t值(反映该脑区的最大激活强度)。

1.3 统计学分析

使用SPSS19.0软件进行统计分析。根据以往的影像学检查结果,选取与图片命名认知加工过程密切相关感兴趣区(regions of interest, ROIs),包括双侧枕叶、顶下小叶、颞中回, Wernicke区及右侧同源区, Broca区及右侧同源区, 双侧前运动皮质及辅助运动区。对两组在每个时间窗的每个ROI激活强度(t值)进行两样本t检验;将实验组的ROIs在每个时间窗的激活强度依次与AQ进行相关性分析,设定P<0.05有显著性差异。

2 结果

两组WAB各子项目得分及其AQ比较见表2。实验组左脑Broca区在400—600ms时间窗内激活强度较对照组明显下降,差异有显著性意义(P<0.05),见表3。

表2 两组WAB得分

WAB项目	两组WAB得分 ($\bar{x} \pm s$)	
	对照组(N=5)	实验组(N=5)
自发言语	19.80 ± 0.45	10.00 ± 1.58 ^①
听理解	9.90 ± 0.12	7.19 ± 1.64 ^①
复述	9.94 ± 0.13	6.80 ± 1.63 ^①
命名	10.00 ± 0.00	3.58 ± 2.50 ^①
失语商	99.24 ± 0.71	53.66 ± 9.49 ^①

①与对照组相比P<0.01

实验组右脑的Broca同源区、Wernicke同源区、顶下小叶在400—600ms时间窗内激活强度明显高于对照组,差异有显著性意义($P<0.05$),见表3;两组的ROIs在0—150ms, 150—275ms, 275—400ms,

600—800ms时间窗内比较均无显著性差异。

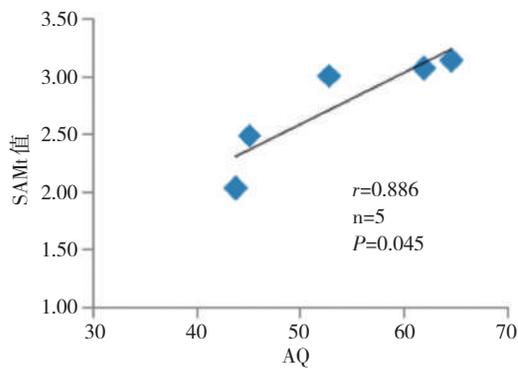
相关分析显示:实验组右脑Broca同源区在400—600ms的激活强度与失语商呈显著正相关关系($r=0.886, n=5, P=0.045$),见图2。

表3 各时间窗内实验组与对照组相关脑区激活强度 ($\bar{x}\pm s$)

脑区	0—150ms		150—275ms		275—400ms		400—600ms		600ms—800ms	
	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组
左脑Broca区	0.27 ± 0.32	0.44 ± 0.23	1.61 ± 0.27	1.36 ± 0.44	2.43 ± 0.82	1.59 ± 0.43	2.71 ± 0.41	1.85 ± 0.65 ^①	2.08 ± 0.56	1.72 ± 1.27
右脑Broca同源区	0.41 ± 0.25	0.26 ± 0.18	1.56 ± 0.63	1.91 ± 0.22	2.20 ± 0.74	2.72 ± 0.48	1.62 ± 0.25	2.75 ± 0.48 ^②	1.70 ± 0.80	2.01 ± 1.63
右脑Wernicke同源区	0.51 ± 0.25	0.78 ± 0.71	2.2 ± 0.53	2.38 ± 0.94	2.83 ± 0.84	3.34 ± 1.27	2.19 ± 0.23	3.23 ± 0.91 ^①	1.80 ± 0.94	1.91 ± 1.77
右脑顶下小叶	0.21 ± 0.12	0.56 ± 0.55	2.06 ± 0.34	2.12 ± 0.87	2.19 ± 0.66	2.66 ± 0.55	1.93 ± 0.49	2.99 ± 0.83 ^①	1.81 ± 0.99	2.11 ± 1.81

①与对照组比较 $P<0.05$;②与对照组比较 $P<0.01$

图2 右脑Broca同源区激活强度与AQ相关关系



3 讨论

大脑以模块化的方式对外界信息进行有序加工,不同的模块任务不同,一个模块将加工所得的信息传递给下一个模块进行进一步的处理,依次有序递进,直至任务的完成。所以研究一种认知过程时,既要关注各相关模块的空间分布,同时也应了解各模块活动的时间序列。就目前存在的脑功能检测技术而言,可以大致可分为两大类,一类是提供空间信息的影像学技术如fMRI、PET等,一类是可提供时间序列信息的电生理技术,主要是事件相关电位和MEG。但它们各有优缺点:PET需注入放射性示踪物,不适合研究健康儿童群体;fMRI为无创性的检测手段,可以以毫米级的空间分辨率来研究大脑神经元活动;MEG与EEG相似,时间分辨率高,检测的是神经元活动所产生的磁场,因而不受颅骨、皮肤等脑电传播介质影响,但对大脑深部的电活动敏感性较差。本研究将MEG得到功能像与MRI结构像

进行融合,可使其同时具备较高的时间和空分辨率。

3.1 关于实验范式

以往一些研究采用默读任务,以排除讲话时面部的肌肉活动所带来的伪迹。但由此带来的问题是我们无法监测受试者是否执行任务以及执行到何种程度,因而也就不能与脑活动进行联系。本研究采用延迟命名任务使得信号采集时间段与伪迹产生的主要时间段相分离,在一定程度上避免了伪迹的干扰。出声与不出声的词汇产生任务的主要脑活动差别在双侧的初级运动皮质^[15-16],此脑区与语言功能并无直接关系,不会对本研究结果有太大影响。

3.2 正常人图片命名的脑皮质活动

图片/事物命名是语言加工的一项基本功能,包含从信息输入到整合再到输出三个主要部分。本研究用MEG对受试者大脑的皮质活动进行检测,在正常人中观察到的激活链与以往研究基本一致,即激活从枕叶开始向前推进,后依次到达顶叶、颞枕联合区,再到颞上回,最后到额叶及双侧的运动感觉区,各个脑区在激活时间上有着明显的重叠。

1994年,Salmelin首次应用脑磁图对正常人图片命名进行研究,发现语言加工是序列递进过程,从后部视区(枕叶)到语言区(颞叶),再到发音区(前运动区、额叶)。激活虽然涉及到双侧半球,但左侧激活强度较高^[13]。Indefrey和Levelt在一项研究词汇产生的meta分析中将以往的行为学和事件相关电位研究成果与影像学研究成果进行综合,并结合少数的MEG研究推测图片命名可能存在如下的时间窗及相应认知子过程的神经关联:①0—175ms(刺激过后),物品的视觉认知和概念化,涉及到枕叶和

颞叶腹侧区域;②175—250ms,从“心理词典”中选择相应的语义-句法表征,与左半球颞中回的中部分有关;③250—450ms,为音韵代码检索,涉及左半球颞中回和颞上回的后部分(Wernicke'区)。④450ms为口头输出的准备,涉及左半球额下回(Broca'区)和双侧感觉运动区^[14]。而 Minna 等 MEG 研究则显示:在图片命名中,0—200ms 双侧枕叶最先得激活;222—375ms 时是双侧顶叶激活;310—556ms 左半球颞叶激活;最后激活双侧额叶及运动感觉区(口面部皮质代表区),时间窗为 330—607ms^[12]。

3.3 慢性非流畅性失语图片命名的脑皮质活动

20 世纪 70 年代末产生的失语症二分法,以自发言语流利性为依据,将失语分为非流畅性失语和流畅性失语,二者在病变部位、言语障碍特征及预后等方面有较大差异。非流畅性失语的主要特征为:词汇产生费力、缓慢,语句短且不合语法规则及韵律失常语,通常认为损伤位于中央沟前方,多涉及到 Broca 区或深层的白质。本研究实验组中,有 3 人损伤累及 Broca 区,2 人为皮质下受损。

本研究显示,慢性非流畅性失语症患者在图片命名过程中,皮质活动在强度、半球分布方面与正常人有明显差异。患者左半球 Broca 区在图片呈现 150ms 以后,均出现激活强度下降,400—600ms 差异有显著性意义(图 3);枕叶、顶下小叶、颞上回、颞中回及前运动皮质、辅助运动区等脑区活动与正常人相比无统计

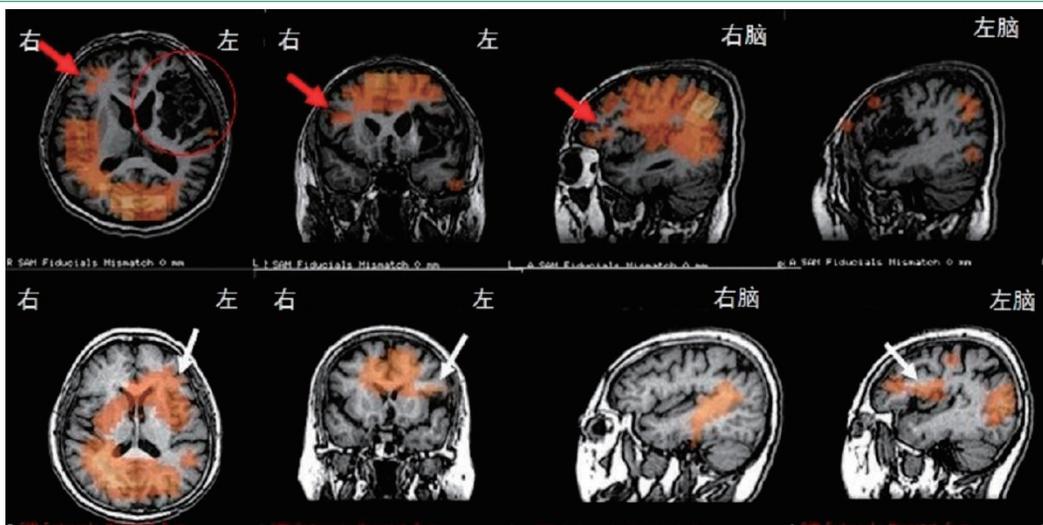
学差异。这显然与患者 Broca 区及附近白质受损所导致的音韵加工和语音/发音编码障碍有关^[17]。

患者右脑的 Broca 同源区、Wernicke 同源区、顶下小叶在 400—600ms 时间窗内激活强度明显高于对照组,差异有显著性意义(图 3)。有研究表明:正常情况下,大脑在执行语言功能时,语言特化区域会抑制同侧、对侧或双侧神经网络中不参与任何特定语言功能的区域,如同源区,该机制称之为旁抑制(collateral inhibition)和经胼胝体抑制(transcallosal inhibition)^[4,18]。一旦特化的神经区域受损(例如卒中损伤),这种机制将会失调,称为去抑制(disinhibition)^[19]。Masayuki 等对 20 名健康人进行单词默读任务的 MEG 研究以确定语言优势半球(定侧),作者选择额下回三角部和岛盖部,额中回背侧部,颞上回或颞中回后部,颞枕联合区,角回,枕叶中部 6 个区域及同源区分别计算偏侧指数(laterality index, LI),发现利用额下回定侧的结果与 Wada 试验结果相关性最强^[20]。综上,可以认为 Broca 区为语言网络中重要的节点或处于语言网络中心地位,如果该区受损或与同源区联系中断,那么在该脑区活动主要时间窗(如图片命名的 400—600ms)内,就失去对非优势半球的“统领”作用,导致此时间段右脑网络的活动泛化以代偿左脑 Broca 区功能之不足。

3.4 右脑语言网络活化与语言功能的关系

大脑受损后,神经网络会发生一些适应性的变

图 3 P2 失语症患者 400—600ms 时脑活动



红箭头示右脑 Broca 同源区,红色圆圈示损伤部位;下图示一位正常人 400—600ms 时脑活动白箭头示左脑 Broca 区

化、进行功能性的重组以部分补偿损伤带来的功能缺失。本研究显示患者左半球 Broca 区激活强度明显小于正常人,且与患者的语言功能无相关性,说明患者左半球未得到有效的重塑。而右脑 Broca 同源区在 400—600ms 内的激活强度与患者的失语商正相关,这揭示右脑 Broca 同源区对患者的言语功能的起到一定的代偿作用,这与以往的一些研究结果相似^[5,21]。但从表 2 中可以看出本研究中患者的自发言语(输出)受损较重而听理解(输入)受损较轻,提示 400—600ms 右脑激活可能造成了患者言语不流畅的这一特点。最近 Hamilton 等^[2]在一项 meta 分析中研究了 104 例失语症患者 fMRI 和 PET 结果,显示出患者言语产生任务表现与右脑额下回的激活相关。Naeser 等^[22]应用 fMRI 研究了 4 个左半球损伤后 4—9 年的慢性非流畅性失语患者,发现患者在静息观看图片时与正常人相比,右半球的激活无显著差异;在描述图片任务中,与正常人相比,却表现出右半球的过度激活,同时观察到患者言语行为迟疑、踌躇、断断续续(intermittently)、失语法的特点,认为右脑的过度激活在一定程度上造成了慢性非流畅性失语症患者言语不流畅。由于 fMRI 方法的局限性,上述研究必须通过设计两种不同图片认知加工过程的语言任务进行比较,方能突出言语输出准备子过程的脑神经活动特征,而本研究则是分割图片认知加工时间过程,可对言语输出准备子过程时间窗内的脑神经活动单独进行分析,异曲同工。

本研究中失语症患者病程均属慢性期,其中 1 例为重度脑卒中,2 例为中度脑卒中,其损伤均涉及额下回重要的语言中枢;2 例为皮质下出血,这造成其他区域传至额下回信息通路的中断,从而表现出与额下回损伤类似的语言功能障碍(远隔效应)^[23]。此外,所有患者早期均未得到有效的言语康复治疗,故左脑重塑有限,以自发的右脑代偿为主,言语功能也恢复较差。

4 结论

本实验对失语症患者进行较严格的筛选,选择了慢性非流畅失语症患者进行研究。在患者执行语言任务过程中,观察到了右脑神经网络活动广泛上调,这种泛化在言语输出准备时期最为明显。本研究观察到右脑 Broca 同源区的激活强度与患者的 AQ 之间存

在正相关关系,提示右脑 Broca 同源区的激活对非流畅性失语症患者受损的言语总体功能可能起到代偿作用,但所有患者言语均表现出非流畅性的特点,这又表明右脑这种代偿方式非常有限且不完全。另外,本研究只观察到一个时间点的语言网络特征,上文提到语言网络的重塑会随病程进展或言语训练介入而发生变化,为了更好地阐明失语症患者的异常网络特征及其重塑过程,进一步的研究需要连续地、动态地观察不同时间阶段、不同类型失语神经网络特征变化及其与言语功能变化之间的关系,以明确各种因素在言语功能恢复中所扮演的角色,进而指导言语治疗。

参考文献

- [1] Price CJ, Crinion J. The latest on functional imaging studies of aphasic stroke[J]. *Curr Opin Neurol*, 2005, 18(4): 429—434.
- [2] Hamilton RH, Chrysikou EG, Coslett B. Mechanisms of aphasia recovery after stroke and the role of noninvasive brain stimulation[J]. *Brain Lang*, 2011, 118(1-2): 40—50.
- [3] Thompson CK, den Ouden DB. Neuroimaging and recovery of language in aphasia[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2008, 8(6): 475—483.
- [4] Hamilton RH, Sanders L, Benson J, et al. Stimulating conversation: enhancement of elicited propositional speech in a patient with chronic non-fluent aphasia following transcranial magnetic stimulation[J]. *Brain Lang*, 2010, 113(2): 45—50.
- [5] Saur D, Hartwigsen G. Neurobiology of language recovery after stroke: lessons from neuroimaging studies[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012, 93(1 Suppl): S15—25.
- [6] D'Arcy RC, Bardouille T, Newman AJ, et al. Spatial MEG Laterality maps for language: Clinical applications in epilepsy [J]. *Hum Brain Mapp*, 2012, doi: 10.1002/hbm.22024. [Epub ahead of print].
- [7] Laganaro M, Morand S, Schwitler V, et al. Normalisation and increase of abnormal ERP patterns accompany recovery from aphasia in the post-acute stage[J]. *Neuropsychologia*, 2008, 46(8): 2265—2273.
- [8] Xiang J, Wilson D, Otsubo H, et al. Neuromagnetic spectral distribution of implicit processing of words[J]. *Neuroreport*, 2001, 12(18): 3923—3927.
- [9] Wang Y, Holland SK, Vannest J. Concordance of MEG and fMRI patterns in adolescents during verb generation[J]. *Brain Res*, 2012, 1447: 79—90.
- [10] Mohamed IS, Cheyne D, Gaetz WC, et al. Spatiotemporal

(下转 548 页)