

生物类与非生物类图片命名任务对大脑活动时空模式的影响

蒋玉尔^a, 林枫^{a,b}, 江钟立^{a,b}

【摘要】 目的:探讨图片的语义类别对命名任务的影响,研究生物类和非生物类图片命名任务对正常大脑活动时空模式的影响。**方法:**入组健康成年右利手受试者10例,选取来自不同语义类别(生物类和非生物类)的图片20张,应用磁共振成像获取个体大脑结构,脑磁图(MEG)检测任务中的全脑活动。**结果:**在图片命名任务中,早期脑区激活从双侧枕叶开始,逐步向颞叶和顶叶扩散,最后额叶激活产生言语。在视觉相关时间窗内,生物类图片命名在右侧扣带回激活强度显著低于非生物类图片命名($P=0.0475$),而非生物类图片命名在双侧枕叶、左侧顶叶和左侧额叶均显著高于非生物类图片命名(均 $P<0.05$)。在语义相关时间窗内,生物类图片命名在双侧额叶显著高于非生物类图片命名($P<0.05$)。在语音相关时间窗内,生物类图片命名在双侧枕叶、左侧顶叶和左侧额叶均显著高于非生物类图片命名(均 $P<0.05$)。**结论:**生物类和非生物类图片命名相比,两者在颞叶的活动未见显著差异,但前者具有枕叶、顶叶和额叶优势激活。提示生物类图片可以更好地在相关时间窗内刺激相关功能脑区。

【关键词】 语义类别;图片命名;脑磁图;言语治疗

【中图分类号】 R49 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2020.12.001

Effects of life and nonlife picture naming tasks on the spatio-temporal patterns of brain activity Jiang Yuer, Lin Feng, Jiang Zhongli. The First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

【Abstract】 Objective: To explore the influence of semantic categories during naming task, and study the effects of life and nonlife picture naming tasks on the spatio-temporal patterns of healthy brain activity. **Methods:** Ten healthy adult right-handed subjects were enrolled. Twenty pictures from different semantic categories (life and nonlife) were selected, and the brain structure of individuals was obtained by magnetic resonance imaging, while the whole brain activity in the picture naming task was detected by magnetoencephalogram (MEG). **Results:** In the picture naming tasks, early brain activation started in the bilateral occipital lobes, gradually spread to the temporal and parietal lobes, and finally generated the speech production in the frontal lobes. In the visual related time windows, the activation of nonlife categories picture naming in the right cingulate gyrus was significantly greater than the life ($P=0.0475$), while the activation of life categories in the bilateral occipital lobes, left parietal lobe and left frontal lobe was significantly greater than the nonlife (all $P<0.05$). In the semantic related time windows, the activation of life categories in the bilateral frontal lobes was significantly greater than nonlife categories ($P<0.05$). In the phonological related time windows, the activation of life categories in the bilateral occipital lobes, left parietal lobe and left frontal lobe was significantly greater than nonlife categories (all $P<0.05$). **Conclusion:** Compared with the picture naming of nonlife categories, naming of life categories had no significant difference in temporal lobe activity but showed a dominant activation in occipital, parietal and frontal lobes, which suggested that picture naming of life categories can stimulate the related functional regions in the related time windows better.

【Key words】 semantic category; picture naming; magnetoencephalogram; speech therapy

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81672255);江苏省科技支撑计划(BE2012675);江苏省高校哲学社会科学优秀创新团队建设项目资助(2017STD006);南京医科大学附属逸夫医院内临床重点科室建设专项(YFZDXK02-7)

收稿日期:2020-02-17

作者单位:南京医科大学 a. 第一附属医院(江苏省人民医院)康复医学科,南京 210029;b. 附属逸夫医院康复医学科,南京 211100

作者简介:蒋玉尔(1996-),女,硕士研究生,从事脑高级功能障碍方向的研究。

通讯作者:江钟立,jiangzhongli@njmu.edu.cn

失语症(aphasia)是脑卒中或脑外伤后的一类常见后遗症,表现为口语和书面语的产出或理解困难^[1-5]。几乎所有失语症患者均遗留有不同程度的命名障碍^[6]。图片命名在临床言语治疗中,是一种常用

的评估和治疗方法^[7-9]。用来训练的素材多为日常生活中常见的对象,如生物(水果、动物等)和非生物(工具、家具等)类别的图片。但需要注意的是,图片命名是一个复杂的神经过程,需要多个特定脑区的相互作用,将说话者想要表达的概念转换成语言形式,并将词汇组织转换成快速、协调、清晰的运动序列,全过程发生在毫秒级别^[10]。在言语产出涉及的众多功能特异性脑区中,核心区域位于左侧额下皮质和左侧颞后皮质^[11]。正如不同损伤部位和程度的脑卒中或脑外伤会导致不同类型的失语症,不同类别的图片会使大脑产生不同时间和空间关系的信息处理,在各脑区、各时间窗下表现出类别间的差异。目前已有研究证明动词和名词激活的脑区不同,提示了训练素材的词性会对言语治疗的效果产生影响^[12]。但母语为汉语的失语症患者,图片命名作为其言语治疗的方法,选取何种类别的名词图片作为训练素材可以最有效地刺激言语相关脑区,仍有待探索。

本研究采用高时空分辨率的脑磁图(magnetoencephalography, MEG),检测不同类别图片命名在时间和空间维度下的大脑活动,精确截取毫秒级的时间进程,选取全脑各脑区的激活强度为指标,比较生物类图片命名和非生物类图片命名任务间脑区激活的差异,从而探讨两类图片命名任务对正常大脑活动时空模式的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究选取10例健康志愿者(男女各5例),平均年龄(24.1 ± 1.5)岁,平均受教育(17.1 ± 1.6)年。入组标准:母语汉语;改良爱丁堡利手问卷:右利手;受教育时间 >9 年;西方失语症成套测验汉化版:无失语(失语商 >93.8)。排除标准:认知障碍;构音障碍;视觉和视空间障碍(前者包括视力模糊、色盲、色弱等视觉障碍,后者包括偏侧忽略、视野缺损、巴林特综合征、视觉性运动失调等视空间障碍);听觉障碍;神经疾病或精神功能障碍,近期服用过对中枢神经系统有影响的药物;不能完成本研究相关任务;存在MRI检查禁忌证、不能耐受30min的脑磁图及10min磁共振检查。本实验得到南京医科大学伦理委员会的批准(2016-SR-008),所有受试者均在入组前签署知情同意书。

1.2 方法 ①实验检测:MEG检测使用CTF-275导全头型脑磁图系统(加拿大VSM医疗技术公司),受试者平卧位,在磁屏蔽室内进行采集。标记鼻根和双耳屏前1cm作为定位点,使用定位线圈固定。眼动和心电事件的检测由脑电图(electroencephalogram,

EEG)导联记录,前者贴于双眼眶上、外眦以及眶下,后者贴于双侧手背及手腕。图片命名任务态的采样频率为1200Hz。每次任务态采集完成受试者离开房间后,均继续采集2min空房噪音,采样频率为6000Hz。图片呈现使用BrainX刺激软件(美国Cincinnati儿童医院脑磁图中心)^[13],投影于显示屏上,屏幕与视线夹角约 10° ,屏幕距离受试者眼睛约40cm。检查过程中头动大于0.5cm的数据被舍弃。MRI检测使用1.5T磁共振成像系统(美国GE公司),采集T1加权像。每次扫描均在MEG采集完成后,按照已标记的定位点固定标志物,以便后期融合。②实验刺激:从义征数据集中选取25张黑白简笔画图片作为脑磁图检测过程的刺激材料^[14],其中5张图片作为适应图,20张来自生物类和非生物类的名词图片作为刺激图。实验共包含120个测次,为了避免同类图片连续命名产生语义干扰效应,故将两类图片的呈现顺序进行随机。任务开始首先呈现黑十字图“+”作为提示信号,随后呈现适应图片和刺激图片,每张呈现时间均为600ms。图片间隔时间为3100~3400ms的随机间隔时间^[15],以消除受试者对图片呈现的预期反应。指导语为:请平躺,睁眼,尽量保持不动,十字出现后任务开始,请说出图片上是什么。

1.3 数据处理 MRI数据由BrainSuite软件读取,应用BCI-DNI脑区分隔方案,将大脑重建标注为130个脑区(左右各65个)。MEG数据由Brainstorm软件读取,以定位点建立MNI(Montreal Neurological Institute)三维坐标系统,并与标注后的个体化大脑进行融合。预处理步骤包括直流电漂移校正(DC-offset correction)、线性趋势消除(linear trend removal)、1~45Hz带通滤波(band-pass filter)和50Hz陷阶口滤波(notch filter),事件检测包括眨眼、扫视、心电和肌电,采用信号空间投射(signal-space projection, SSP)和独立成分分析(independent component analysis, ICA)去除伪迹。手动标记并独立核验坏段。受试者两类图片的刺激波形分别叠加平均,结合头模和空房噪音后采用最小范数成像法(minimal norm imaging, MNI)溯源。源水平进行基线($-200 \sim 0.8$ ms)校准后取绝对值,投射至标准脑模版并加以3mm平滑。全脑激活强度的分析提取0~535ms的时间序列,并分为6个时间窗^[16]: t_1 (0~119ms)初级视觉处理, t_2 (120~150ms)次级视觉处理和目标识别, t_3 (151~190ms)语义记忆检索和类别判断, t_4 (191~320ms)语义处理并整合对语音形式的访问, t_5 (321~480ms)语音编码和发音准备, t_6 (481~535ms)语音发音及反省。

1.4 统计学方法 采用SPSS 25.0及brainstorm软

件进行数据的统计分析。通过置换检验比较图片类别对命名时全脑各脑区激活强度的影响^[17],置换次数为 100000 次,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两图片命名任务中全脑激活过程 生物类和非生物类图片命名任务中,全脑激活随时间进程发生变化。早期脑区激活从双侧枕叶开始,逐步向颞叶和顶

叶扩散,最后额叶激活产生言语,见图 1。

2.2 两图片命名任务间全脑优势脑区 在 t_1 时间窗内,生物类图片命名在右侧扣带回前部($P=0.0475, t=-2.0502$)激活强度显著低于非生物类图片命名,但生物类图片命名在右侧楔叶后部($P=0.0249, t=2.3420$)、右侧枕下回后部($P=0.0369, t=2.1827$)、左侧舌回前部($P=0.0144, t=2.5477$)、左侧舌回后部($P=0.0358, t=2.1336$)、右侧舌回后部

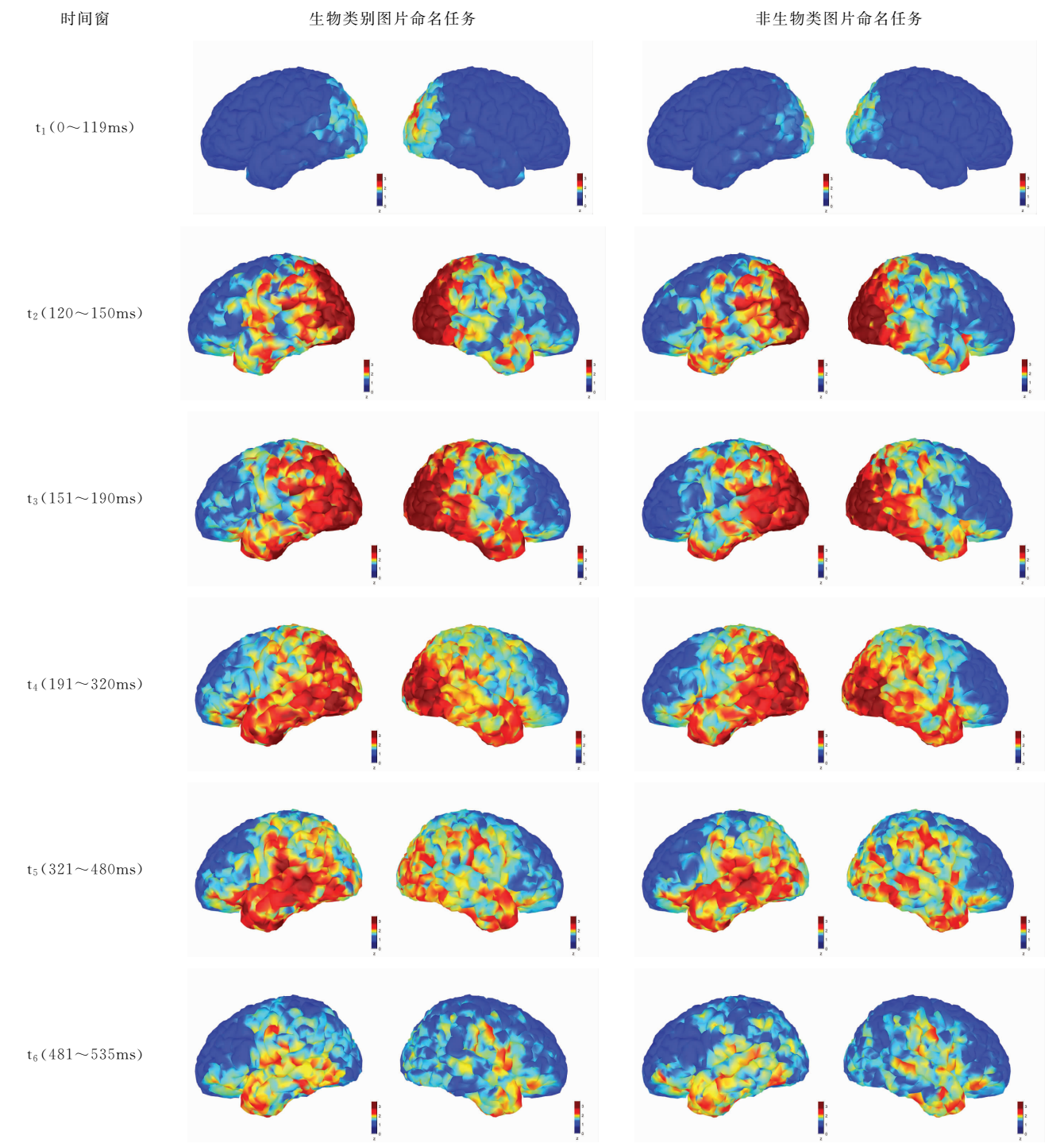


图 1 两图片命名任务中全脑激活过程

($P=0.0411, t=2.1279$)、左侧中央后回下部($P=0.0171, t=2.5041$)、右侧枕上回上部($P=0.0301, t=2.2870$)和左侧额横回外侧部($P=0.0282, t=2.3081$)均显著高于非生物类图片命名;在其余脑区差异均无统计学意义。在 t_2 时间窗内,两种图片命名任务在全脑各脑区差异均无统计学意义。在 t_3 时间窗内,生物类图片命名在左侧额横回外侧部($P=0.0215, t=2.4252$)显著高于非生物类图片命名,在其余脑区差异均无统计学意义。在 t_4 时间窗内,生物类图片命名在右侧额中回前部($P=0.0258, t=2.1810$)显著高于非生物类图片命名,在其余脑区差异均无统计学意义。在 t_5 时间窗内,生物类图片命名在右侧楔叶前部($P=0.0323, t=2.1978$)和左侧中央后回上部($P=0.0253, t=2.3020$)均显著高于非生物类图片命名,在其余脑区差异均无统计学意义。在 t_6 时间窗内,生物类图片命名在左侧楔叶前部($P=0.0329, t=2.1940$)和左侧岛盖部上部($P=0.0363, t=2.1862$)显著高于非生物类图片命名,在其余脑区差异均无统计学意义,见表 1。

3 讨论

图片命名过程涉及快速而精准的脑区活动^[18]。在这可能短至几百毫秒的过程内跟踪时空动态变化,仍然是一个具有挑战性的问题^[19-20]。功能性磁共振成像虽然具有出色的空间分辨率,但血流动力学反应只能度量到秒级的大脑活动;EEG 虽然时间分辨率较高,但空间定位能力较差,难以为大规模脑活动提供依据。在此,MEG 兼顾了时间和空间精度,能够在动态过程中准确定位功能脑区,反映时间和空间维度下皮层的功能活动情况,从而追踪图片命名过程中的任务相关改变^[10]。

视觉处理相关阶段包括视觉信息输入(t_1)和信息处理(t_2)。早期随着图片呈现,双侧初级视觉皮层产生激活,开始图片类别识别前的视觉特征提取。在此时间窗内(0~119ms),右侧扣带回前部是非生物类图片命名出现的唯一优势脑区。该脑区涉及注意控制功能,在视觉传入阶段与整体认知也有关^[21-22],提示非生物图片命名可能更需要注意的维持。而在相同

表 1 两图片命名任务间全脑优势脑区激活强度

		$\bar{x} \pm s$					
脑区	类别	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
右侧扣带回前部	生物	0.98 ± 0.16^a	1.23 ± 0.12	1.32 ± 0.04	1.42 ± 0.18	1.33 ± 0.11	1.28 ± 0.12
	非生物	1.09 ± 0.13	1.39 ± 0.11	1.28 ± 0.11	1.29 ± 0.06	1.38 ± 0.11	1.29 ± 0.15
右侧楔叶后部	生物	1.73 ± 0.91^a	3.33 ± 0.09	2.90 ± 0.21	2.68 ± 0.17	1.93 ± 0.16	1.66 ± 0.08
	非生物	1.53 ± 0.70	2.96 ± 0.11	2.81 ± 0.10	2.60 ± 0.13	1.91 ± 0.20	1.32 ± 0.15
右侧枕下回背部	生物	1.84 ± 1.13^a	2.97 ± 0.50	2.44 ± 0.07	2.33 ± 0.14	1.93 ± 0.12	1.59 ± 0.10
	非生物	1.59 ± 0.88	3.12 ± 0.44	2.30 ± 0.12	2.12 ± 0.19	1.56 ± 0.15	1.36 ± 0.06
左侧舌回前部	生物	2.21 ± 1.52^a	3.92 ± 0.37	3.06 ± 0.07	2.57 ± 0.14	1.89 ± 0.20	1.55 ± 0.06
	非生物	1.80 ± 1.04	3.44 ± 0.28	2.74 ± 0.12	2.31 ± 0.20	1.62 ± 0.16	1.26 ± 0.05
左侧舌回后部	生物	1.68 ± 0.79^a	3.63 ± 0.15	3.69 ± 0.10	2.71 ± 2.71	1.97 ± 0.26	1.47 ± 0.09
	非生物	1.37 ± 0.52	3.29 ± 0.16	3.47 ± 0.19	2.81 ± 2.81	1.86 ± 0.20	1.50 ± 0.07
右侧舌回后部	生物	1.57 ± 0.67^a	2.86 ± 0.04	2.78 ± 0.04	2.44 ± 0.17	2.03 ± 0.20	1.66 ± 0.04
	非生物	1.36 ± 0.55	2.77 ± 0.11	2.79 ± 0.25	2.36 ± 0.20	1.84 ± 0.13	1.49 ± 0.09
左侧中央后回下部	生物	1.84 ± 0.86^a	3.65 ± 0.08	3.62 ± 0.23	2.78 ± 0.24	2.15 ± 0.26	1.72 ± 0.09
	非生物	1.50 ± 0.81	3.33 ± 0.05	3.47 ± 0.04	2.71 ± 0.34	1.91 ± 0.28	1.43 ± 0.06
右侧枕上回上部	生物	1.97 ± 1.14^a	3.87 ± 0.07	3.43 ± 0.20	2.74 ± 0.19	1.88 ± 0.32	1.46 ± 0.05
	非生物	1.53 ± 0.87	3.64 ± 0.08	3.39 ± 0.07	2.64 ± 0.24	1.74 ± 0.24	1.32 ± 0.06
左侧额横回外侧部	生物	1.05 ± 0.09^a	1.29 ± 0.07	1.28 ± 0.06^a	1.40 ± 0.12	1.48 ± 0.07	1.36 ± 0.07
	非生物	1.04 ± 0.10	1.20 ± 0.06	1.16 ± 0.03	1.16 ± 0.06	1.27 ± 0.07	1.22 ± 0.05
右侧额中回前部	生物	1.08 ± 0.14	1.69 ± 0.17	1.44 ± 0.07	1.64 ± 0.14^a	1.63 ± 0.13	1.39 ± 0.08
	非生物	1.04 ± 0.12	1.52 ± 0.07	1.37 ± 0.06	1.50 ± 0.13	1.51 ± 0.15	1.16 ± 0.10
右侧楔叶前部	生物	1.22 ± 0.22	1.91 ± 0.14	1.94 ± 0.09	1.94 ± 0.17	2.50 ± 0.24^a	2.04 ± 0.27
	非生物	1.04 ± 0.16	1.64 ± 0.06	1.73 ± 0.04	1.80 ± 0.09	2.26 ± 0.15	1.82 ± 0.12
左侧中央后回上部	生物	1.10 ± 0.18	1.62 ± 0.15	2.01 ± 0.08	1.90 ± 0.12	1.69 ± 0.11^a	1.39 ± 0.14
	非生物	1.02 ± 0.15	1.55 ± 0.17	1.76 ± 0.04	1.90 ± 0.14	1.44 ± 0.13	1.32 ± 0.07
左侧楔叶前部	生物	2.27 ± 1.74	4.17 ± 0.45	3.81 ± 0.12	2.97 ± 0.30	2.17 ± 0.30	1.52 ± 0.11^a
	非生物	1.80 ± 1.14	3.63 ± 0.18	3.29 ± 0.05	2.67 ± 0.23	2.03 ± 0.32	1.38 ± 0.10
左侧岛盖部上部	生物	1.06 ± 0.14	1.21 ± 0.08	1.27 ± 0.07	1.45 ± 0.13	1.38 ± 0.13	1.33 ± 0.12^a
	非生物	0.94 ± 0.12	1.08 ± 0.05	1.01 ± 0.05	1.23 ± 0.12	1.26 ± 0.10	1.26 ± 0.11

与非生物类图片命名相比,^a $P<0.05$

时间窗内,生物类图片命名则呈现出明显优势。右侧楔叶作为初级视觉中枢,与右侧枕上回、枕下回和舌回类似,在此时进行最基本的视觉处理,并调节初级视觉皮层向外侧皮质传递的信号^[23-24]。左侧中央后回作为感知觉中枢,左侧额横回作为前额叶的一部分,均具有感知和执行功能^[25-27],此时也得到优势激活,提示生物类图片引起了感知觉皮层的更强激活。Zannino等^[28]采用生物和非生物类图片对13例健康人进行的功能性磁共振成像视觉任务研究发现,在枕中回、枕下回和右侧额中回出现了生物类别的优势激活。虽然功能性磁共振成像研究不能精确区分时间进程,但所用视觉任务本身对大脑活动对应的时间进程进行了限制。本研究依据脑磁图的技术支持,将时间进程进行了更详细的划分及定位,显示了早期视觉相关脑区出现显著激活差异。在次级视觉皮层信息处理时间窗内(120~150ms),生物类和非生物类图片命名在各脑区的激活强度基本一致,提示不论命名对象是否有生命,其目标识别过程都是类似的。

语义处理相关阶段包括语义检索(t_3)和形式转换(t_4)。为了检索语义记忆、提取语义特征并进行语义编码,该阶段颞顶叶在两任务中均得到大范围高强度的激活^[11],故并未显示出优势差异。Contini等^[29]报道在视觉任务中生物类别的颞叶皮层在150~250ms存在显著优势激活,但本研究在此时间窗内还叠加了图片命名任务与语义特征提取和语义语音转换有关的颞叶活动,所以两任务均出现了颞叶皮层的强激活,无显著差异。相反,在语义检索时间窗内(151~190ms),由于语义类别辨识与持续注意和执行功能密切相关^[30],所以生物类图片命名再次在左侧额横回出现优势激活,以判断图片的所属语义类别。同样,在语义语音转换期间(191~320ms),生物类图片命名仍然是优势任务,在右侧额中回出现优势激活,此时主要进行词汇选择,从同类别的竞争者中选出目标词汇^[11,31]。这提示生物类图片和非生物类图片在语义信息处理过程中,语义提取和编码方式是类似的,但是在类别判断和目标选择方面,生物类图片要求更高。

语音处理相关阶段包括语音编码(t_5)和发音发声(t_6)。此阶段出现典型激活的脑区主要集中在额顶叶,例如额下回、中央前回和中央后回。在语音编码期间(321~480ms),生物类图片命名的优势脑区出现在右侧楔叶和左侧中央后回,由于既往研究多局限在视觉判断任务,提示右侧楔叶的优势激活与视觉运动行为的规划和执行有关^[32-33],左侧中央后回的优势激活提示在出声图片命名任务中参与了控制口面部的运动,并与命名时的行为表现有关^[34-35]。最后,随着发

音开始(481~535ms),生物类图片命名在左侧楔叶和左侧额下回岛盖部出现优势激活,左侧楔叶继续监测发声的运动控制,而左侧岛盖部作为Broca区的一部分,将语义语音编码进行转换并维持口语流畅度,在出声命名阶段起着至关重要的作用^[36-37]。左侧岛盖部作为生物类别的优势脑区,在语音编码和产出过程中起着重要作用,提示了生物类图片命名可以产生语音相关脑区的更强激活。

本研究存在一定局限性:首先,研究样本量较小,且仅纳入了青年健康人群,后期将样本扩大到不同年龄人群建立常模数据;其次,在此基础上,加紧完善失语症患者的数据收集,探明不同训练素材治疗后言语功能重塑的脑机制。

本研究采用高时空分辨率的脑磁图检测,结合临床上图片命名在应用中的实际问题,选择了言语治疗中常用的图片及类别,探索了对失语症患者进行图片命名训练时素材的选择问题。纵观两任务全过程,可以发现优势地位基本由生物类图片命名占据,且优势脑区覆盖了枕叶、顶叶和额叶。这意味着除了发生在颞叶的语义检索和编码没有明显差别以外,命名中全脑涉及到的其他相关功能都以生物类图片激活更高。本研究对生物类和非生物类图片命名任务进行了功能影像学比较,也为后期失语症患者的比较研究提供了常模支持。

【参考文献】

- [1] Tsouli S, Kyritsis A P, Tsagalis G, et al. Significance of Aphasia after First-Ever Acute Stroke: Impact on Early and Late Outcomes[J]. *Neuroepidemiology*, 2009, 33(2): 96-102.
- [2] Flowers H L, Skoretz S A, Silver F L, et al. Poststroke Aphasia Frequency, Recovery, and Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2016, 97(12): 2188-2201.
- [3] Simic T, Bitan T, Turner G, et al. The role of executive control in post-stroke aphasia treatment[J]. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2019: 1-40.
- [4] 张甜甜, 张大华, 赵钰婷, 等. 失语症行为治疗的研究进展[J]. *中国康复*, 2016, 31(6): 414-417.
- [5] 阿依夏木·阿布都力木, 席艳玲, 吐尔逊·沙比尔. 双语失语症康复治疗的现状[J]. *中国康复*, 2014, 29(5): 343-346.
- [6] Alyahya R S W, Halai A D, Conroy P, et al. Noun and verb processing in aphasia: Behavioural profiles and neural correlates[J]. *NeuroImage: Clinical*, 2018, 18: 215-230.
- [7] Kohn S E, Goodglass H. Picture-Naming in Aphasia[J]. *Brain and Language*, 1985, 24(2): 266-283.
- [8] Wambaugh J L, Mauszycki S, Wright S. Semantic feature analysis: Application to confrontation naming of actions in aphasia[J]. *Aphasiology*, 2014, 28(1): 1-24.

- [9] Meteyard L, Bose A. What Does a Cue Do? Comparing Phonological and Semantic Cues for Picture Naming in Aphasia[J]. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2018, 61(3): 658-674.
- [10] Liljestrm M, Kujala J, Stevenson C, et al. Dynamic reconfiguration of the language network preceding onset of speech in picture naming: Cortical Networks Underlying Speech Production[J]. *Human Brain Mapping*, 2015, 36(3): 1202-1216.
- [11] Price C J. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading[J]. *NeuroImage*, 2012, 62(2): 816-847.
- [12] Feng S, Qi R, Yang J, et al. Neural correlates for nouns and verbs in phrases during syntactic and semantic processing: An fMRI study[J]. *Journal of Neurolinguistics*, 2020, 53: 100860.
- [13] Xiang J, Wilson D, Otsubo H, et al. Neuromagnetic spectral distribution of implicit processing of words[J]. *Neuroreport*, 2001, 12(18): 3923-3927.
- [14] 林枫. 面向言语治疗的汉语词汇语义表征分析研究[M]. 北京: 北京大学出版社, 2020, in press.
- [15] Shitova N, Roelofs A, Schriefers H, et al. Control adjustments in speaking: Electrophysiology of the Gratton effect in picture naming[J]. *Cortex*, 2017, 92: 289-303.
- [16] Hassan M, Benquet P, Biraben A, et al. Dynamic reorganization of functional brain networks during picture naming[J]. *Cortex*, 2015, 73: 276-288.
- [17] Maris E, Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data[J]. *Journal of Neuroscience Methods*, 2007, 164(1): 177-190.
- [18] Bressler S L, Menon V. Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2010, 14(6): 277-290.
- [19] Hutchison R M, Womelsdorf T, Allen E A, et al. Dynamic functional connectivity: Promise, issues, and interpretations [J]. *NeuroImage*, 2013, 80: 360-378.
- [20] Allen E A, Damaraju E, Plis S M, et al. Tracking Whole-Brain Connectivity Dynamics in the Resting State[J]. *Cerebral Cortex*, 2014, 24(3): 663-676.
- [21] Piai V, Roelofs A, Acheson D J, et al. Attention for speaking: domain-general control from the anterior cingulate cortex in spoken word production [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2013, 7: 832-832.
- [22] Gonzales M M, Insel P S, Nelson C, et al. Cortical Atrophy is Associated with Accelerated Cognitive Decline in Mild Cognitive Impairment with Subsyndromal Depression [J]. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 2017, 25(9): 980-991.
- [23] Vanni S, Tanskanen T, Seppä M, et al. Coinciding early activation of the human primary visual cortex and anteromedial cuneus [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2001, 98(5): 2776-2780.
- [24] Johnson E B, Rees E M, Labuschagne I, et al. The impact of occipital lobe cortical thickness on cognitive task performance: An investigation in Huntington's Disease [J]. *Neuropsychologia*, 2015, 79: 138-146.
- [25] Seitz R J, Nickel J, Azari N P. Functional modularity of the medial prefrontal cortex: Involvement in human empathy[J]. *Neuropsychology*, 2006, 20(6): 743-751.
- [26] Yuan P, Raz N. Prefrontal cortex and executive functions in healthy adults: A meta-analysis of structural neuroimaging studies[J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2014, 42: 180-192.
- [27] Izci Y, Agrawal B, Ates ö, et al. Superficial vascular anatomy of the medial prefrontal cortex: an anatomical study[J]. *Surgical Neurology*, 2009, 72(4): 383-388.
- [28] Zannino G D, Barban F, Macaluso E, et al. The Neural Correlates of Object Familiarity and Domain Specificity in the Human Visual Cortex: An FMRI Study[J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2011, 23(10): 2878-2891.
- [29] Contini E W, Wardle S G, Carlson T A. Decoding the Time-Course of Object Recognition in the Human Brain: From Visual Features to Categorical Decisions[J]. *Neuropsychologia*, 2017, 105: 165-176.
- [30] Jonkman L M, Markus C R, Franklin M S. Mind wandering during attention performance: Effects of ADHD-inattention symptomatology, negative mood, ruminative response style and working memory capacity[J]. *Plos One*, 2017, 12(7): e0181213.
- [31] Price C J. The anatomy of language: a review of 100 fMRI studies published in 2009[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010, 1191(1): 62-88.
- [32] Azarmi F, Miri Ashtiani S N, Shalhaf A, et al. Granger causality analysis in combination with directed network measures for classification of MS patients and healthy controls using task-related fMRI[J]. *Computers in Biology and Medicine*, 2019, 115: 103495.
- [33] Su J, Ban S, Wang M, et al. Reduced resting-state brain functional network connectivity and poor regional homogeneity in patients with CADASIL[J]. *The Journal of Headache and Pain*, 2019, 20(1): 103-115.
- [34] Zhang H, Eppes A, Beatty-Martinez A, et al. Task difficulty modulates brain-behavior correlations in language production and cognitive control: Behavioral and fMRI evidence from a phonological go/no-go picture-naming paradigm[J]. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2018, 18(5): 964-981.
- [35] Ikegaya N, Motoi H, Iijima K, et al. Spatiotemporal dynamics of auditory and picture naming-related high-gamma modulations: A study of Japanese-speaking patients[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2019, 130(8): 1446-1454.
- [36] Heim S, Eickhoff S B, Amunts K. Specialisation in Broca's region for semantic, phonological, and syntactic fluency? [J]. *NeuroImage*, 2008, 40(3): 1362-1368.
- [37] Curley L B, Newman E, Thompson W K, et al. Cortical morphology of the pars opercularis and its relationship to motor-inhibitory performance in a longitudinal, developing cohort[J]. *Brain Structure and Function*, 2018, 223(1): 211-220.