

同类图片命名中信息处理的脑磁图研究*

蒋玉尔¹ 林 枫^{1,2} 钟丽娟¹ 江钟立^{1,2,3}

摘要

目的:应用脑磁图(MEG)检查,探讨同类图片命名任务中大脑的时空激活模式,为临床言语治疗提供依据。

方法:选取健康成年右利手受试者10例(男性5例,女性5例)。实验任务为出声命名相同类别的图片。应用磁共振(MRI)获取个体大脑结构图像,通过脑磁图(MEG)检测图片命名过程中,全脑在不同时间窗内的激活水平。

结果:在特征提取和语义编码时间窗内,视觉系统和腹侧颞叶联合系统的激活水平显著高于内侧默认模式系统($P<0.01$),其中腹侧颞叶联合系统的左侧半球的激活水平显著高于右侧半球($P<0.05$);在语音编码及发音发声时间窗内,腹侧颞叶联合系统、额-顶系统、扣带回-岛盖系统、注意系统、视觉系统以及听觉系统的激活水平均显著高于内侧默认模式系统($P<0.01$),其中腹侧颞叶联合系统、额-顶系统和听觉系统的左侧半球的激活水平显著低于右侧半球($P<0.05$)。

结论:同类图片命名任务中,大脑随时间出现偏侧化优势激活。左偏侧化出现在信息处理过程的前期,与视觉特征提取和语义加工有关;右偏侧化出现在信息处理过程的后期,与语音加工有关。语义腹侧流和语音背侧流的时空分离现象为临床精准治疗提供了依据。

关键词 图片命名;信息处理;脑磁图;功能系统;偏侧化

中图分类号:R743.3,R445.2,R49 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2020)-07-0801-07

An MEG study of information processing during related picture naming task/JIANG Yuer, LIN Feng, ZHONG Lijuan, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2020, 35(7): 801—807

Abstract

Objective: Using MEG to examine the spatiotemporal activation patterns of the brain during related picture naming task to provide evidence for clinical speech therapy.

Method: Ten healthy right-handed adults were selected (5 males and 5 females) for overt naming of related pictures. The brain structure of the individual was acquired by MRI, and the activation of the whole brain in different time windows was recorded by MEG.

Result: In the time windows of feature extraction and semantic coding, the activation levels in visual system and ventral temporal association system were significantly higher than that in medial default mode system ($P<0.01$), and the activation levels in the left hemisphere of temporal association system were significantly higher than that in the right hemisphere ($P<0.05$). In the stage of phonologic coding and articulation, the activation levels in ventral temporal lobe associated system, frontal-parietal system, cingulo-opercular system, attention system, visual system and auditory system were significantly higher than that in medial default mode system ($P<0.01$), and the activation levels in the left hemisphere of temporal association system, frontal-parietal system and auditory system were significantly lower than that in the right hemisphere ($P<0.05$).

Conclusion: The dominant activation foci for semantic and phonologic processing took place in different brain re-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.07.007

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(81672255);江苏省高校哲学社会科学优秀创新团队建设项目资助(2017STD006);江苏高校优势学科建设工程资助项目(JX10231801)

1 南京医科大学第一附属医院,南京,210029; 2 南京医科大学附属逸夫医院; 3 通讯作者

第一作者简介:蒋玉尔,女,硕士,治疗师; 收稿日期:2019-11-29

gions in the related picture naming task. During semantic processing, the left hemisphere especially in the ventral temporal pathway was activated for a long time, which may promote semantic coding. During phonologic processing, right-lateralization especially in the right frontotemporal lobe appeared, which related with speech coding and vocalization. The spatiotemporal separation of semantic ventral stream and speech dorsal stream provides a basis for clinical precise treatment.

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

Key word picture naming; information processing; magnetoencephalography; functional system; laterality

约有 1/3 的卒中患者遗留不同程度的失语症 (aphasia), 导致口语和书面语的产出或理解困难^[1-3]。在失语症的诸多研究和治疗方法中, 图片命名任务是一种常用手段。作为研究方法, 它可以有效评估言语功能。与自发言语任务相比, 图片命名可以测试预先设定的词汇命名; 与复述或跟读任务相比, 又避免了命名过程中的音素提示^[4]。作为治疗方法, 它可以改善失语症患者的命名及言语产出能力^[5-8]。在临床言语治疗中, 治疗师通常将同一类别的若干图片随机重复展示, 试图通过该类别概念间的语义联系, 引起尽可能强的激活强度。但既往研究提示, 同类图片随机重复呈现会导致命名的反应时间延长, 即出现语义干扰效应 (semantic interference effect)^[9-13], 可能并不利于失语症患者的言语产出。所以, 随机重复给予同类图片是否能够诱发更强的语义处理, 并产生更好的治疗效果, 是否适用于所有类型的失语症患者, 目前仍不明确。

迄今为止, 关于图片类别与命名的关系多为事件相关电位 (event-related potentials, ERPs) 研究, 由于该方式时间分辨率较高, 诸多结果均证明了语义相关性较强, 例如来自同一语义类别时, 图片命名的前期和后期信息处理存在差异^[14-15]。但相当一部分研究重在探索语义干扰效应产生的理论模型, 鲜有研究考察同类图片命名的神经机制, 既往结果难以作为临床精准治疗的依据。并且, 仅凭若干传感器 (sensor) 水平的分析, 不能有效推导至脑区水平的活动, 有限的空间分辨率无法记录大脑在信息处理过程中随时间而发生的动态变化。本研究采用脑磁图 (magnetoencephalography, MEG) 检测同类图片命名任务中的信息处理过程, 探讨语义相关性对大脑时间和空间维度激活水平的影响, 为临床言语治疗提供认知神经机制的解释。

1 对象与方法

1.1 受试者

选取 10 例健康志愿者, 其中男性 5 例, 女性 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: ①改良爱丁堡利手问卷: 右利手; ②母语汉语; ③受教育时间 > 9 年; ④西方失语症成套测验汉化版: 无失语 (失语商 > 93.8)。排除标准: ①认知障碍; ②构音障碍; ③视觉和视空间障碍: 包括造成矫正后的视力模糊、视野缺损等障碍的眼科疾病, 和造成皮质盲、幻视、错视、视觉失认、偏侧忽略等障碍的神经系统疾病; ④听觉障碍; ⑤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; ⑥不能执行本研究相关任务; ⑦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 (伦理批准号: 2016-SR-007), 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, 在双耳屏前 1cm、鼻根处分别固定定位标志物。图片呈现使用 BrainX 刺激软件^[16] (美国 Cincinnati 儿童医院脑磁图中心), 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。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, 将大脑结构成像与定位点建立的三维坐标系统融合。

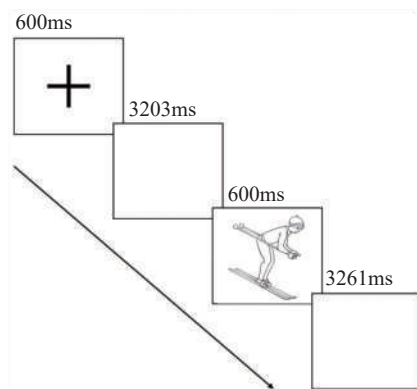
1.2.2 实验刺激: 从义征数据集^[17]中选取 30 张黑白简笔画图片作为 MEG 检测过程的刺激材料。为避免训练效应干扰实验结果, 选取 5 张图片用于受试者的适应过程, 25 张图片用于实验的刺激过程 (表 1)。实验过程包含 150 个有效测次。每次图片命名任务中, 首先呈现黑十字图“+”作为提示信号, 随后

按顺序呈现适应图片,最后按预先设定并随机的顺序呈现刺激图片。每张图片呈现时间均为600ms,为避免固定间隔时间产生规律心理期待,图片间隔时间为2400ms加700—1000ms的随机间隔时间^[18](图1)。要求受试者在图片呈现时立即出声命名。以图片出现为零时点,截取-200—1000ms时间窗。原始数据的采样频率为1200Hz。

表1 实验图片名称

相同类别图片命名					
类别1	雨伞	剪刀	牙刷	扫帚	筷子
类别2	耳朵	脚跟	肩膀	牙齿	鼻子
类别3	沙发	餐桌	书架	马桶	冰箱
类别4	苹果	香蕉	甘蔗	西瓜	葡萄
类别5	老鼠	兔子	猴子	狮子	老虎
适应图	滑雪	跳绳	拳击	写字	游泳

图1 实验时间进程



1.2.3 数据处理: MRI数据由BrainSuite软件读取后进行三维重建,以BCI-DNI脑区分隔方案标注大脑皮层。MEG数据由Brainstorm软件读取,经过带通滤波、去除坏道等预处理步骤,检测心电、眼动后消除伪迹,结合受试者个体化结构像进行溯源,基线校准、取绝对值后,投射到标准脑模板上提取时间序列,以备统计分析。取传感器所记录波形的振幅强度作为激活水平的指标,单位为皮安培(picoampere, pA)。由于该分隔方案结合了大脑解剖和功能,故将脑模板分为八大系统:额-顶系统、腹侧颞叶联合系统、视觉系统、听觉系统、运动和感觉系统、注意系统、扣带回-岛盖系统和内侧默认模式系统^[19]。在大脑活动的分析中每个测次选取-200—0.8ms作为基线(t_0),0—600ms分为6个子时间窗^[20]:第一个时间窗(t_1)为0—119ms,主要进行对象类别识别前

的视觉特征提取;第二个时间窗(t_2)为120—150ms,进行视觉信息处理和目标识别;第三个时间窗(t_3)为151—190ms,调用语义记忆进行语义检索;第四个时间窗(t_4)为191—320ms,整合语义对语音形式的访问;第五个时间窗(t_5)为321—480ms,语音编码和发音准备;第六个时间窗(t_6)为481—535ms,发音开始和语音内省。

1.3 统计学分析

任务态各时间窗内的随机性检验采用游程检验,计算各时间窗内大脑活动的随机性^[21-22]。大脑激活的比较分为两部分,系统与时间窗采用两因素重复测量方差分析,并进行事后检验。系统内半球与时间窗采用双因素方差分析。比较时间序列下左右半球的空间激活情况和优势脑区分布。

2 结果

2.1 系统间的激活水平比较

同类图片命名任务中各时间窗内均进行了任务态的信息处理,大脑激活处于非随机性状态($P<0.001$)。在图片命名的信息处理全过程中,不同系统间的全脑激活水平有显著性差异($P=0.000$),时间窗对激活水平也有影响($P=0.000$),表2。与内侧默认模式系统相比,在 t_1 时间窗内视觉系统的激活水平显著较高($P=0.000$);同样,在 t_2 时间窗内视觉系统的激活水平显著较高($P=0.000$);在 t_3 时间窗内腹侧颞叶联合系统和视觉系统的激活水平显著较高($P=0.000$ 、 $P=0.000$);在 t_4 时间窗内腹侧颞叶联合系统、视觉系统以及听觉系统的激活水平显著较高($P=0.000$ 、 $P=0.000$ 、 $P=0.012$);在 t_5 时间窗内腹侧颞叶联合系统、额-顶系统、扣带回-岛盖系统、注意系统、视觉系统、听觉系统的激活水平均显著高($P=0.001$ 、 $P=0.000$ 、 $P=0.001$ 、 $P=0.000$ 、 $P=0.000$ 、 $P=0.000$);同样,在 t_6 时间窗内腹侧颞叶联合系统、额-顶系统、扣带回-岛盖系统、注意系统、视觉系统、听觉系统的激活水平均显著高($P=0.001$ 、 $P=0.000$ 、 $P=0.029$ 、 $P=0.000$ 、 $P=0.002$ 、 $P=0.010$)。

2.2 系统优势半球的激活水平比较

在同类图片命名的整个信息处理过程中,不同系统间的大脑激活有显著性差异($P=0.000$),时间窗对激活水平也有影响($P=0.014$),见表3。在腹侧颞

叶联合系统中,左侧半球的激活水平在 t_1 — t_4 时间窗内显著高于右侧半球($P=0.002$ 、 $P=0.036$ 、 $P=0.025$ 、 $P=0.005$),在 t_6 时间窗内则显著低于右侧半球($P=0.014$);在额-顶系统中,左侧半球的激活水平在 t_6 时间窗内显著低于右侧半球($P=0.008$);在视觉系统中,左侧半球的激活水平在 t_5 时间窗内显著高于右侧半球($P=0.010$);在听觉系统中,左侧半球的激活水平在 t_1 时间窗内显著高于右侧半球($P=0.032$),在 t_5 、 t_6 时间窗内则显著低于右侧半球($P=0.012$ 、 $P=0.033$);在运动和感觉系统中,左侧半球的激活水平在 t_3 时间窗内显著高于右侧半球($P=0.005$)。在扣带回-岛盖系统、注意系统以及内侧默认模式系统中,左右半球的激活水平未见显著性差异。

2.3 全脑优势脑区的激活水平比较

在整个同类图片命名的信息处理过程中,双侧枕叶和颞叶得到了较高强度的激活。经过基线校准后,左侧半球的激活水平在 t_1 — t_4 时间窗内显著高于右侧半球($P<0.05$),在 t_5 — t_6 时间窗内显著低于右侧半球($P<0.05$)。见图2。

3 讨论

随着功能性脑影像学的发展,非侵入性脑功能检查逐渐开始应用于言语处理过程的探索。如脑磁图、脑电图和功能性磁共振成像,在基础研究和临床实践中已得到广泛的应用^[23]。其中,脑磁图兼顾了时间和空间维度的高分辨率,是确定功能定位、寻找

表2 与内侧默认模式系统相比的平均激活水平

(pA)

系统	0—119ms(t_1)	120—150ms(t_2)	151—190ms(t_3)	191—320ms(t_4)	321—480ms(t_5)	481—535ms(t_6)
腹侧颞叶联合系统	0.239	0.804	1.766 ^②	1.101 ^②	0.663 ^②	0.741 ^②
额-顶系统	0.156	0.375	0.549	0.417	0.395 ^②	0.525 ^②
扣带回-岛盖系统	0.056	-0.066	0.303	0.469	0.480 ^①	0.492 ^①
注意系统	0.344	0.843	0.799	0.642	0.597 ^②	0.624 ^①
视觉系统	0.833 ^②	2.521 ^②	2.603 ^②	1.419 ^②	0.719 ^②	0.585 ^②
听觉系统	0.069	0.388	0.834	0.771 ^①	0.618 ^②	0.695 ^②
运动和感觉系统	-0.084	-0.251	0.476	0.275	0.307	0.350

①该系统的平均激活水平显著高于内侧默认模式系统($P<0.01$);②该系统的平均激活水平显著高于内侧默认模式系统($P<0.001$)。

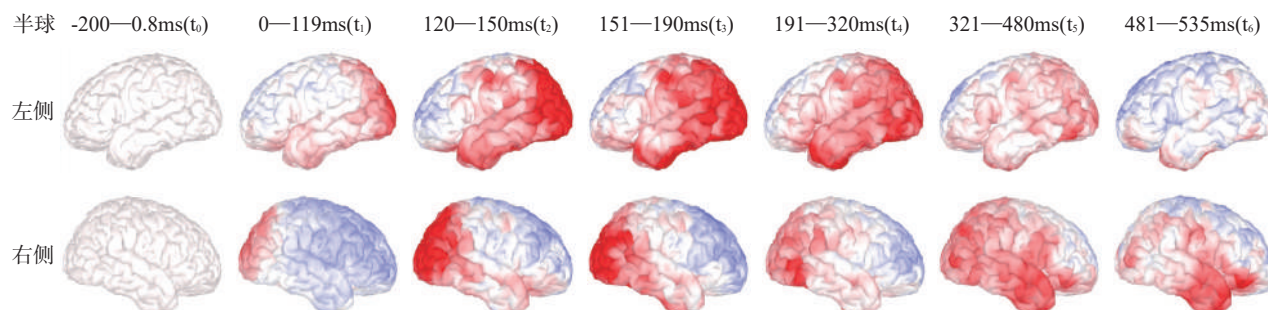
表3 系统优势半球激活水平

($\bar{x}\pm s$, pA)

系统	-200—-0.8ms(t_0)	0—119ms(t_1)	120—150ms(t_2)	151—190ms(t_3)	191—320ms(t_4)	321—480ms(t_5)	481—535ms(t_6)
腹侧颞叶联合系统							
左	0.812±0.004	1.715±0.070 ^②	3.795±0.398 ^①	4.582±0.848 ^①	3.985±0.471 ^②	2.766±0.336	2.197±0.175
右	0.809±0.004	1.596±0.083	3.441±0.336	3.886±0.429	3.257±0.596	2.919±0.318	2.682±0.574 ^①
额-顶系统							
左	0.813±0.005	1.580±0.281	3.043±1.054	3.155±0.888	3.036±0.618	2.521±0.221	2.030±0.273
右	0.810±0.005	1.565±0.321	3.336±1.073	2.879±1.066	2.837±0.563	2.631±0.276	2.413±0.439 ^②
扣带回-岛盖系统							
左	0.807±0.003	1.430±0.128	2.649±0.508	2.877±0.712	2.991±0.493	2.531±0.278	1.893±0.226
右	0.809±0.003	1.384±0.144	2.697±0.458	2.450±0.497	2.753±0.597	2.621±0.423	2.340±0.532
注意系统							
左	0.814±0.003	1.803±0.489	3.420±1.496	3.475±0.880	3.283±0.534	2.675±0.213	2.038±0.217
右	0.810±0.006	1.720±0.525	3.895±1.411	3.058±0.874	3.043±0.508	2.880±0.338	2.605±0.907
视觉系统							
左	0.814±0.005	2.237±0.351	5.235±0.797	5.069±0.810	3.953±0.318	3.054±0.247 ^①	2.342±0.185
右	0.815±0.004	2.265±0.392	5.433±0.731	5.073±0.765	3.922±0.336	2.747±0.288	2.223±0.202
听觉系统							
左	0.810±0.004	1.550±0.087 ^①	3.270±0.219	3.350±0.346	3.395±0.137	2.555±0.186	2.100±0.234
右	0.811±0.003	1.420±0.036	3.130±0.186	3.255±0.244	3.183±0.327	3.043±0.202 ^①	2.688±0.355 ^①
运动和感觉系统							
左	0.810±0.001	1.316±0.067	2.650±0.427	3.170±0.225 ^②	2.764±0.313	2.508±0.246	2.004±0.253
右	0.809±0.001	1.350±0.072	2.474±0.300	2.720±0.130	2.824±0.204	2.469±0.175	2.088±0.476
内侧默认模式系统							
左	0.810±0.004	1.476±0.357	2.863±1.024	2.619±0.736	2.549±0.531	2.121±0.234	1.713±0.150
右	0.808±0.003	1.506±0.357	2.936±1.185	2.444±0.681	2.590±0.592	2.273±0.373	1.684±0.152

该侧激活水平显著高于对侧($P<0.05$);②该侧激活水平显著高于对侧($P<0.01$)。

图2 全脑优势脑区激活水平



时空特征的最有效手段之一。言语加工的时间进程,包括特征和概念的提取,以及词汇和运动序列的转换,均发生在图片呈现后的0—600ms^[24]。对于言语治疗而言,脑磁图能够精确定位言语功能脑区,反映生理或病理的皮层功能情况,从而追踪言语信息处理过程中全脑的任务相关改变^[25]。与不出声命名相比,出声命名要求患者保持清醒并持续注意,所以对实验质量的控制更佳。失语症的口语交流是患者和家属最期待解决的问题,这意味着在言语治疗中,不论是行为学评估还是影像学检查,出声命名、产句、对答等任务是十分必要的。

3.1 功能系统与同类图片命名任务的关系

在言语功能研究领域,早期的经典模型基于既往的大脑解剖学,提供了一个局部化和中心化的视角,但往往过于关注脑区本身,在很大程度上忽略了相关连接,难以充分代表言语相关的脑连接及信息流^[26]。随着言语功能成像的发展,诸多证据提示了脑区在时间和空间维度存在着集合,由此产生了功能系统^[27]。

在同类图片命名任务中,腹侧颞叶联合系统主要包括双侧梭状回、颞下回、颞中回、海马旁回和颞极。在Daffau等^[28]提出的双流模型中,该系统基本对应着腹侧语义流,参与图片的识别并进行语义和语音加工,将已进行语义处理的词汇选择出来,转换为语音形式^[29—32]。额-顶系统主要包括双侧角回、眶额回、直回、岛叶、额中回喙部、额下回三角部以及位于前额叶额极皮层的额横回,在双流模型中主要对应着背侧语音流,参与语音加工及发音启动^[28]。扣带回-岛盖系统主要包括额中回尾部、额下回岛盖部、眶部以及缘上回,同样隶属于背侧语音流,尤其

存储了语音代码,在图片命名的信息处理过程中接收已经初级及次级加工的视觉信息,并对后续信息输入产生视觉期待,另外也对出声发音后的语音持有听觉期待^[30—31,33—34]。由于图片有相关关系或重复出现,扣带回-岛盖系统也涉及了短期记忆的访问和提取^[35—36],并基于以上基础,提取目标词汇的语音表征、在音位水平进行音韵编码、在语音水平进行发音准备,最后执行运动指令^[28,32],产出声音。结合Fox等^[37]提出的任务积极系统(task positive system),即与静息状态相比,完成任务时得到更高激活的控制系统(control system),就对应着此处的额-顶系统、扣带回-岛盖系统和注意系统。视觉系统主要包括楔叶、枕上回、枕中回、枕下回和舌回,进行视觉信息处理和目标识别。听觉系统主要包括颞上回和颞横回,作为初级听觉中枢参与特征提取^[30],既可以处理外在输入的听觉信息,又可以感知与自己对话时的内在声音^[38—39]。运动和感觉系统主要包括中央旁小叶、中央前回和中央后回,激活可能与后期的语音编码和发音发声有关^[27]。另外,内侧默认模式系统作为一种处理系统(processing system),主要代表了同类图片命名任务中的基线状态^[40—41],在任务的信息处理过程中始终处于较低激活状态。

3.2 系统优势半球在不同时间窗内的变化

在同类图片命名过程中, t_1 — t_2 时间窗即早期视觉特征提取与目标识别阶段,以及 t_3 — t_4 时间窗内中期语义记忆检索与语义加工处理阶段,均表现为左偏侧化,与既往研究结果一致^[20]。左侧半球作为言语优势半球,在高语义相关性时,腹侧颞叶联合系统呈现出长时间高激活状态。这提示同类图片命名时,腹侧语义流的激活水平确实得以增强。但 t_5 — t_6

时间窗内,随着命名过程的开始、发音以及反省,同类图片命名的大脑激活出现右偏侧化转变。这可能是由于语义相关性非但提高了腹侧语义流的激活水平,也引起了右侧额颞叶的激活^[42],继而导致腹侧颞叶联合系统、额-顶系统和听觉系统均表现为右侧半球激活更强。常识中语音加工的左脑强优势,是由于既往研究对象为不同类别或不强调语义类别的图片,与本文的研究对象存在差异,所以与本文结果并不矛盾。同类图片命名的语音加工过程中出现右脑强优势现象,提示与语音产出阶段的自省加工处理有关^[30, 34]。在同类图片命名任务的研究中,Blackford等^[14]采用的是ERP检测,从时间维度上发现N400振幅在发音阶段出现了衰减,提示语音相关阶段出现了语义干扰效应,并降低了言语产出的效率。Zubicaray等^[11]应用功能性磁共振,从空间维度上发现语义干扰效应所对应为双侧额枕叶的灌注减少和双侧额颞叶的灌注增加,提示了该过程可能脱离了原本言语产出的左偏侧化,出现右侧转变。虽然两人的研究受到实验条件限制,但分别从时间和空间维度上,提出语音相关阶段与视觉和语义相关阶段的信息处理存在差异。本文采用的高时空分辨率的脑磁图技术可以将时空维度的变化相结合,更精确地验证了他们的结果。

3.3 全脑激活脑区在不同时间窗内的变化

在同类图片命名任务中,信息处理全过程呈现自后向前、从左往右的流向。由于图片命名任务涉及视觉刺激,所以在 t_1-t_2 时间窗内信息处理早期阶段,视觉和视知觉的处理发生在视觉系统,双侧枕叶得到显著激活且呈上升趋势,并开始扩散至左侧颞叶^[43-46]。由于刺激图片均来自相同类别,语义相关性强,所以腹侧颞叶联合系统在信息处理中期即 t_3-t_4 时间窗内,腹侧颞叶通路激活水平明显升高,优势激活转移至左侧颞叶,枕叶激活逐渐衰弱。运动和感觉系统在此语义检索时间窗内配合进行特征提取和对象识别^[27],也为其后的语音加工和自省作准备,在此可见激活向额顶叶扩散。在信息处理后期 t_5-t_6 时间窗内,由于受试者语音产出,听觉中枢启动,双侧颞叶持续激活。全脑呈现出一个较大范围、较低水平的激活趋势,左侧半球的优势激活消失,并向对侧额枕叶转移。语义相关性较强时会引

起右侧额颞叶叠加激活^[42],使右侧颞叶通路达到该时间窗内全脑最高激活水平。

与视觉系统和腹侧颞叶联合系统不同,额-顶系统、扣带回-岛盖系统和注意系统始终维持着较为稳定的激活水平。基于此,本研究发现图片来自同一语义类别的情况下,背侧语音流并无明显响应。这也支持了同类图片命名任务中,腹侧语义通路和背侧语音通路在时间和空间维度的分离。

本研究应用高时空分辨率的脑磁图技术,研究了同类图片命名的信息处理过程,发现腹侧语义流和背侧语音流的分离现象,为临床开展精准治疗提供了理论依据。

参考文献

- [1] Tsouli S, Kyritsis AP, 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 HL, Skoretz SA, Silver FL, et al. Post-stroke aphasia frequency, recovery, and outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2016, 97(12): 2188—2201.e8.
- [3] 祁冬晴, 江钟立. 语义特征分析在失语症治疗中的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(3): 282—285.
- [4] Kohn SE, Goodglass H. Picture-naming in aphasia[J]. Brain and Language, 1985, 24(2): 266—283.
- [5] Wambaugh JL, Mauszycki S, Wright S. Semantic feature analysis: Application to confrontation naming of actions in aphasia[J]. Aphasiology, 2014, 28(1): 1—24.
- [6] 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.
- [7] 孙丽, 江钟立, 林枫, 等. 语义导航策略改善失语症患者命名能力的研究[J]. 中国康复医学杂志, 2010, 25(5): 415—419.
- [8] 田智慧, 江钟立, 丛芳, 等. 词联导航训练法与Schuell刺激疗法改善卒中后言语功能的对比研究[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(2): 119—123.
- [9] Hughes JW, Schnur TT. Facilitation and interference in naming: A consequence of the same learning process?[J]. Cognition, 2017, 165: 61—72.
- [10] Gordon JK, Cheimariou S. Semantic interference in a randomized naming task: Effects of age, order, and category[J]. Cognitive Neuropsychology, 2013, 30(7—8): 476—494.
- [11] Zubicaray GD, Fraser D, Ramajoo K, et al. Interference from related actions in spoken word production: Behavioural and fMRI evidence[J]. Neuropsychologia, 2017, 96: 78—88.
- [12] Harvey DY, Traut HJ, Middleton EL. Semantic interference in speech error production in a randomized continuous naming task: evidence from aphasia[J]. Language, Cognition and Neuroscience, 2019, 34(1): 69—86.

- [13] Navarrete E, Prato PD, Mahon BZ. Factors determining semantic facilitation and interference in the cyclic naming paradigm[J]. *Frontiers in Psychology*, 2012, 3(38): 1—15.
- [14] Blackford T, Holcomb PJ, Grainger J, et al. A funny thing happened on the way to articulation: N400 attenuation despite behavioral interference in picture naming[J]. *Cognition*, 2012, 123(1): 84—99.
- [15] Rose SB, Aristei S, Melinger A, et al. The closer they are, the more they interfere: Semantic similarity of word distractors increases competition in language production[J]. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2019, 45(4): 753—763.
- [16] Xiang J, Wilson D, Otsubo H, et al. Neuromagnetic spectral distribution of implicit processing of words[J]. *Neuroreport*, 2001, 12(18): 3923—3927.
- [17] 林枫. 面向言语治疗的汉语词汇语义表征分析研究[M]. 第1版. 北京: 北京大学出版社, 2020.
- [18] 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.
- [19] Muldoon SF, Pasqualetti F, Gu S, et al. Stimulation-based control of dynamic brain networks[J]. *Hilgetag CC. PLOS Computational Biology*, 2016, 12(9): e1005076.
- [20] Hassan M, Benquet P, Biraben A, et al. Dynamic reorganization of functional brain networks during picture naming [J]. *Cortex*, 2015, 73: 276—288.
- [21] Maris E, Oostenveld R. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data[J]. *Journal of Neuroscience Methods*, 2007, 164(1): 177—190.
- [22] Trimmel K, Van Graan A L, Caciagli L, et al. Left temporal lobe language network connectivity in temporal lobe epilepsy[J]. *Brain*, 2018, 141(8): 2406—2418.
- [23] Liljeström M, Hultén A, Parkkonen L, et al. Comparing MEG and fMRI views to naming actions and objects[J]. *Human Brain Mapping*, 2009, 30(6): 1845—1856.
- [24] Levelt WJM, Praamstra P, Meyer AS, et al. An MEG study of picture naming[J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1998, 10(5): 553—567.
- [25] Liljeström 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.
- [26] Tremblay P, Dick AS. Broca and Wernicke are dead, or moving past the classic model of language neurobiology [J]. *Brain and Language*, 2016, 162: 60—71.
- [27] Power JD, Cohen AL, Nelson SM, et al. Functional network organization of the human brain[J]. *Neuron*, 2011, 72(4): 665—678.
- [28] Duffau H, Moritz-Gasser S, Mandonnet E. A re-examination of neural basis of language processing: Proposal of a dynamic hodotopical model from data provided by brain stimulation mapping during picture naming[J]. *Brain and Language*, 2014, 131: 1—10.
- [29] Forseth KJ, Kadipasaoglu CM, Conner CR, et al. A lexical semantic hub for heteromodal naming in middle fusiform gyrus[J]. *Brain*, 2018, 141(7): 2112—2126.
- [30] Price CJ. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading[J]. *Neuro Image*, 2012, 62(2): 816—847.
- [31] Hashimoto Y, Sakai KL. Brain activations during conscious self-monitoring of speech production with delayed auditory feedback: An fMRI study[J]. *Human Brain Mapping*, 2003, 20(1): 22—28.
- [32] 汪洁, 吴东宇, 宋为群, 等. 图命名的视觉语言加工双流模型[J]. *中国康复医学杂志*, 2019, 34(6): 737—741.
- [33] Herwig U, Kaffenberger T, Schell C, et al. Neural activity associated with self-reflection[J]. *BMC Neuroscience*, 2012, 13(1): 52.
- [34] Price CJ. 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.
- [35] Canini M, Della Rosa PA, Catricalà E, et al. Semantic interference and its control: A functional neuroimaging and connectivity study[J]. *Human Brain Mapping*, 2016, 37(11): 4179—4196.
- [36] Guidali G, Pisoni A, Bolognini N, et al. Keeping order in the brain: The supramarginal gyrus and serial order in short-term memory[J]. *Cortex*, 2019, 119: 89—99.
- [37] Fox MD, Snyder AZ, Vincent JL, et al. The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102(27): 9673—9678.
- [38] Zoellner S, Benner J, Zeidler B, et al. Reduced cortical thickness in Heschl's gyrus as an in vivo marker for human primary auditory cortex[J]. *Human Brain Mapping*, 2019, 40(4): 1139—1154.
- [39] Warrier C, Wong P, Penhune V, et al. Relating structure to function: Heschl's gyrus and acoustic processing[J]. *Journal of Neuroscience*, 2009, 29(1): 61—69.
- [40] Cole MW, Pathak S, Schneider W. Identifying the brain's most globally connected regions[J]. *NeuroImage*, 2010, 49(4): 3132—3148.
- [41] Buckner RL, Sepulcre J, Talukdar T, et al. Cortical hubs revealed by intrinsic functional connectivity: mapping, assessment of stability, and relation to Alzheimer's disease [J]. *Journal of Neuroscience*, 2009, 29(6): 1860—1873.
- [42] Yang J. The role of the right hemisphere in metaphor comprehension: A meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies: Right hemisphere in metaphor processing[J]. *Human Brain Mapping*, 2014, 35(1): 107—122.
- [43] Vihla M, Laine M, Salmelin R. Cortical dynamics of visual/semantic vs. phonological analysis in picture confrontation [J]. *NeuroImage*, 2006, 33(2): 732—738.
- [44] Laaksonen H, Kujala J, Hultén A, et al. MEG evoked responses and rhythmic activity provide spatiotemporally complementary measures of neural activity in language production[J]. *NeuroImage*, 2012, 60(1): 29—36.
- [45] Miozzo M, Pulvermüller F, Hauk O. Early parallel activation of semantics and phonology in picture naming: evidence from a multiple linear regression MEG study[J]. *Cerebral Cortex*, 2015, 25(10): 3343—3355.
- [46] Liljeström M, Stevenson C, Kujala J, et al. Task- and stimulus-related cortical networks in language production: Exploring similarity of MEG- and fMRI-derived functional connectivity[J]. *NeuroImage*, 2015, 120: 75—87.