

图形创造性思维脑部机制的功能磁共振研究^①

宋哲^{1,2}, 黄沛钰^{1,2}, 申林^{1,2}, 邱丽华³, 龚启勇³, 谢鹏^{1,2}

1. 重庆医科大学神经科学研究中心, 重庆 400016; 2. 重庆市神经生物学重点实验室, 重庆 400016;
3. 四川大学华西医院磁共振研究中心, 成都 610041

摘要: 采用现代认知神经科学手段研究创造性思维背后的神经机制已成为新的热点. 大量疾病状态的研究提示正常人在从事创造性活动时可能存在一个左侧半球对右侧的抑制机制, 对其去抑制可以导致图形创造力突然增加, 然而这一假说尚无直接证据. 对 26 名健康志愿者(15 名女性, 11 名男性, 平均年龄 22 岁)进行了磁共振扫描, 在他们做图形想象任务时观察其脑部活动, 研究发现: 相对于非创造性图形想象, 创造性任务激活了左侧前额叶(ROI 分析, $p=0.037$), 但与此同时右侧前额叶(ROI 分析, $p=0.007$)及后部皮层区域(FWE 校正, $p<0.05$)大量去激活. 结果提示在图形创造性活动中, 左侧前额叶可能抑制了右侧半球的活动, 这一抑制的解除可以使右侧功能得以自由发挥而提高图形创造力.

关键词: 功能磁共振; 创造力; 左侧前额叶

中图分类号: B842

文献标志码: A

创造力是指人类基于已有的知识, 创造出新事物的能力^[1]. 采用现代认知神经科学研究手段探索其背后的神经机制, 不仅能使我们更好地理解这一行为, 也能为了解其他类似的心理学活动奠定基础. 由于创造通常涉及将各种不同的观点组合在一起, 较好的脑区间白质连接可能会促进创造力. Takeuchi 等人^[2]通过弥散张量成像研究表明, 创造力与双侧前额叶皮层、胼胝体等区域的白质连接强度相关, 然而, 特定脑区的相对独立可以使它们自由地行使功能, 不受其他区域的影响, 从而增加创造力. 长期以来, 人们将高创造力与双相情感障碍、进行性失语等会导致脑部连接减弱的疾病联系在一起, 认为左侧前额叶的白质纤维强度与创造力呈现负相关^[3]. 大脑不同区域如何协同完成创造性活动, 对此研究者们仍未能达成共识.

在图形创造力研究这个子领域, 证据则较为一致. 人们普遍认为左侧半球的语言思维优势导致其对右半球产生抑制作用^[4]. E. P. 托兰斯^[5]是创造力研究领域的先驱, 他将创造力分为三种形式: 言语的、图形的和听觉的. 一个对于艺术家和业余人员的研究表明, 图形创造力与右侧前额叶相对于左侧前额叶的优势程度成正比^[6]; Moore 等人^[7]发现胼胝体与图形创造力呈负相关, 说明半球间的相对独立有利于创造性思维的发挥; 对帕金森病人的研究发现, 对左侧半球的抑制性脑深部电刺激可以增加艺术创造力^[8], 有许多额叶痴呆的病人出现了图形创造力的增加的现象^[9]. 以上证据似乎暗示, 在普通人中图形创造力被左侧前额叶抑制了, 而经过对右侧半球的训练或者对左侧额叶的损伤之后会得到释放.

遗憾的是, 尽管众多的证据指向右侧半球从左侧抑制下的“释放”, 但还没有人直接观察到这一“抑制”

① 收稿日期: 2011-03-28

基金项目: 国家重大科学研究计划资助项目(2009CB918300).

作者简介: 宋哲(1985-), 女, 浙江杭州人, 硕士研究生, 主要从事认知神经科学研究.

通信作者: 谢鹏, 教授, 博士生导师.

机制, 它仍只是一个假说. 本研究中, 我们试图采用功能磁共振影像技术找到这一抑制机制的直接证据, 为排除其它来源的干扰, 两个类似的视觉想象实验被用来研究创造性活动的差异脑区. 我们引入图形版的托兰斯创造性思维测试(TTCT)作为视觉任务的刺激线索^[10]. TTCT 是一套被广泛用于测试创造性活动的量表, 它主要反映发散思维的能力, 而这正是创造性思维的关键.

1 方 法

1.1 被 试

本研究从四川大学华西医科大学募集了 28 名右利手(爱丁堡利手性测试)健康志愿者. 排除神经精神系统疾病史的被试, 其中 2 名因不能在磁共振扫描时完成指定任务而被排除. 所有参与者均有正常视力或矫正后正常的视力, 并在参与实验前签署了知情同意书.

1.2 实验程序

视觉刺激采用 EPRIME2.0 软件 (<http://www.pstnet.com/eprime.cfm>) 呈现在白色背景上, 由投影仪投射至磁共振仪背侧的荧幕, 被试经固定于头部线圈顶部的反光镜观看刺激. 整体实验范式包括 12 个循环, 每个循环包括 2 个线条图形, 1 个中心十字图形和 1 个黑屏, 如图 1 所示. 当被试看到第一幅图像时, 要求他们根据线索想象出一幅具有创造力、有趣的画面, 试着做到与众不同; 而在第二幅图像呈现时, 他们仅需要根据线条完成一幅普通的图画, 不需要做到独特; 当屏幕中心出现十字时, 被试盯着十字观看即可; 黑屏可以用来区分不同的循环. 每个任务的结束, 被试有 2 s 的时间通过按键来报告自己是否完成任务. 所有被试在进入磁共振扫描前使用学习程序预演了整个过程, 并表示完全理解将要完成的任务.

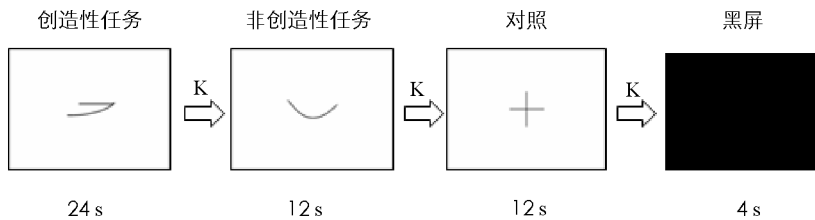


图 1 实验程序

1.3 图像采集

脑部血氧饱和度(Blood Oxygenation Level Dependent, BOLD)图像的采集在四川大学华西医院磁共振研究中心西门子 Trio 3.0T 仪器上完成. 对每个被试采集 353 个全脑图像, 一个全脑图像包括 30 个自上而下间隔扫描的横断层, 体素大小为 $3.8 \times 3.8 \times 5.0$, 脉冲序列重复时间 $TR = 2\ 000$ ms, 回波时间 $TE = 30$ ms, 翻转角为 90° . 要求被试在磁共振仪内保持头部不动, 将视线集中在屏幕中央, 只能在黑屏时进行口水吞咽, 并佩戴防噪音硅胶耳塞以减小干扰. 每次扫描结束时立即采用磁共振仪工作站评估其头动程度.

1.4 数据分析

脑部功能图像数据的分析采用 SPM8 进行(<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>), 考虑到 EPI 序列启动时期的不稳定性, 前 5 幅图像被去除. 剩余的图像首先进行层面事件校正(参考层: 第 29 层), 再移除空间头动的影响, 将所得结果图像标准化到 SPM 自带的 EPI 图像模板, 以 $3\ \text{mm}^3 \times 3\ \text{mm}^3 \times 3\ \text{mm}^3$ 的体素重采样, 再用 8 mm 半高宽高斯核进行空间平滑处理. 预处理后的数据采用一般线性模型进行统计分析, 定义 3 个任务态: 创造性, 非创造性和对照. 比较个体水平不同任务态间脑部活动的差异, 将所有被试结果进行随机效应模型分析.

为进一步观察感兴趣脑区(Region of Interest, ROI)的神经活动, 我们分析了左侧前额叶(球形, MNI 坐标: $[-42\ 23\ 19]$, 直径 10 mm)和右侧前额叶(球形, MNI 坐标: $[42\ 32\ 34]$, 直径 10 mm)局部区域的

BOLD信号改变,对每个被试计算ROI内的平均信号,再采用双样本 t 检验观察不同任务态间BOLD信号是否存在统计学差异。

2 结果

两个图形想象任务相对于对照状态均激活了全脑大量区域。在对照 Creative-Uncreative 中(图2),相对于非创造性任务,创造性活动激活了左侧背外侧前额叶(DLPFC)、左侧额下回(IFG)和右侧枕叶(小体积校正,球形,10 mm, $p < 0.05$),同时伴随着左侧额中回和额下回部分区域、左侧顶下小叶、右侧额中回和额上回、右侧颞中回、双侧颞顶沟、双侧枕叶的大量去激活(FWE校正, $p < 0.05$)。组分析未发现不同性别间的激活模式差异。

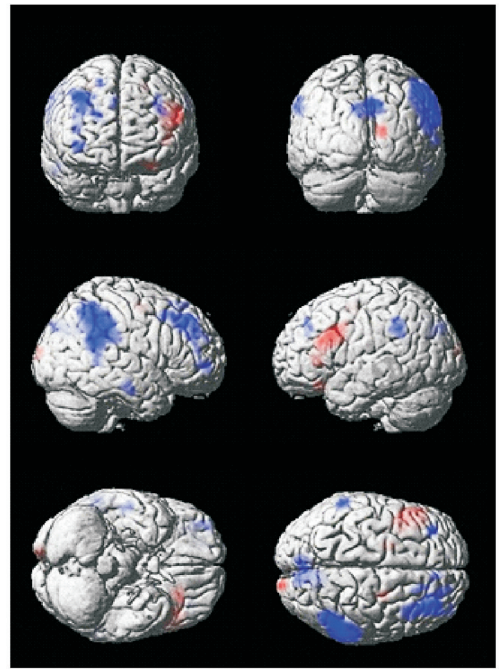
ROI分析显示,从事不同任务时双侧前额叶存在显著的BOLD信号改变(图3)。当从非创造性任务转为创造性任务时,左侧前额叶表现出信号增高(两样本 t 检验, $n=26$, $t=2.142$, $p=0.037$),而右侧前额叶的活动降低($t=-2.814$, $p=0.007$)。

3 讨论

本研究意在探索正常健康被试从事图形创造性思维时的脑部机制。与对照状态相比,图形想象任务激活了全脑各区域的大量部位;与非创造性任务相比,创造性任务激活了左侧前额叶和右侧枕叶,并伴随着右侧前额叶和后部皮层的强烈去激活。

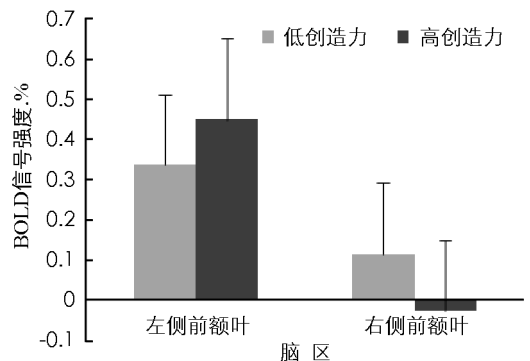
创造性思维研究中,人们常常提及额叶,因为额叶是最高级的新皮层^[11-12]。在这里,我们观察到左侧背外侧前额叶(DLPFC)和左侧额下回(IFG)在创造性思维中活动较高。以往的研究中,DLPFC被认为主要负责一般认知控制(General Executive Control)^[13],而IFG主要参与行为抑制(Response Inhibition)^[14],当感受到的刺激较为模糊,或者涉及个体作出有冲突的反应行为时,就需要认知控制的参与^[15]。考虑到本研究设计中的两个任务态均要求被试进行类似的想象思维,脑部活动的差异只可能是由于试图做到新颖独特导致的,为达到这一目的,被试需要对所想象的结果进行选择,抑制那些不新颖的观点。

因此,我们推断右侧前额叶及后部皮层的大量去激活是由于左侧^[16]前额叶的认知控制导致的。尽管结果不如本研究显著,Carlsson等也报道了被试在进行言语创造性活动时的双侧后部皮层去激活,而专业的艺术家同样在即兴音乐演奏时表现出右侧顶下小叶的去激活^[17],这些去激活可能是由于从“刺激-反应”的模式转为“目标-行为”的模式引起的。



红色表示在创造性想象时活动较高的脑区(小体积校正,球形,10 mm, $p < 0.05$);蓝色区域表明在创造性想象时去激活的脑区(FWE校正, $p < 0.05$)。

图2 创造性与非创造性任务的差异脑区



当从非创造性任务转为创造性任务时,左侧前额叶ROI的活动显著增加($p=0.037$),而右侧前额叶ROI的神经活动显著降低($p=0.007$)。

图3 不同任务间的感兴趣脑区BOLD平均信号强度存在显著差异

右侧大脑半球在整体性、图形化思维方面占据优势。右侧前额叶的去激活之前从未被报道过。最近有文献表明,右侧前额叶在创造性思维中发挥主要作用,并且这一结果不因实验设计的不同而改变^[18]。本实验中右侧额叶的去激活,其唯一可能原因是来自左侧前额叶的认知控制。我们的被试并非专业的艺术家,当要求进行新颖独特的想象时,他们会抑制那些不符合要求的视觉反应,根据自己的意图去构建相符的画面。思想集中了,但也被附加了限制,这对新观点的产生来说,亦好亦坏。

总体来说,结果中的激活与去激活表明了与图形创造性思维相关的复杂脑部机制,并且如我们所预见的,左侧前额叶在其中扮演着监控与抑制其他脑部活动的作用。由于这个抑制机制的存在,特定脑区的相对独立可以摆脱自上而下的控制,自由地发挥其功能,从而促进图形创造力。长期对右脑功能的训练同样可以使右脑从优势左半球的控制下释放出来^[7],而对左侧前额叶的损坏则会使抑制源消除,在某些情境下体现出艺术创造力的增高。

右侧枕叶在创造性任务中的激活更高。由于枕叶处在视觉通路上,它对图形创造力的作用是不言而喻的^[19]。Petsche 等人在脑电研究中发现^[20],创造性活动是以额叶和枕叶电极间的同步化活动增加为标志的。这里的枕叶激活,可能揭示了一种早期的新颖性检测机制,或者反映了额叶自上而下构建图像的活动。

本研究对于被试的年龄、性别、利手性和教育背景均有着良好的控制,实验范式有很强的统计学效力。我们成功地观察到预期的脑部抑制机制,结合以往对高创造力个体和病理情况的研究,我们可以完整地揭示图形创造力是如何在脑部组织完成的。这不仅使我们对于这一特殊能力的理解更深一层,也为我们研究其他类似的需要大量协同工作的复杂脑功能提供了可行的思路。本研究的缺点在于未利用该范式对高创造力人群进行研究,未来的研究可考虑动态观察训练对于创造性思维脑部机制的影响,研究大脑不同区域间合作关系的改变。

参考文献:

- [1] 刘曙光. 造型艺术影像论 [J]. 西南师范大学学报: 人文社会科学版, 2005, 30(2): 164—166.
- [2] TAKEUCHI H, TAK Y, SASSA Y, et al. White Matter Structures Associated with Creativity: Evidence from Diffusion Tensor Imaging [J]. Neuroimage, 2010, 51(1): 11—18.
- [3] JUNG R E, GRAZIOPLENE R, CAPRIHAN A, et al. White Matter Integrity, Creativity, and Psychopathology: Disentangling Constructs with Diffusion Tensor Imaging [J]. PLoS One, 2010, 5(3): e9818.
- [4] EDWARDS B. Drawing on the Right Side of the Brain [M]. America: Tarcher, 1989: 1—254.
- [5] TORRANCE E P. Nurture of Creative Talents [J]. Theory into Practice, 1966, 5(4): 167—173.
- [6] KOWATARI Y, LEE S H, YAMAMURA H, et al. Neural Networks Involved in Artistic Creativity [J]. Human Brain Mapping, 2009, 30(1): 1678—1690.
- [7] DRAGO V, FOSTER P S, OKUN M S, et al. Artistic Creativity and DBS: A Case Report [J]. Journal of the Neurological Sciences, 2009, 276(1—2): 138—142.
- [8] MOORE D W, BHADELIA R A, BILLING R L S, et al. Hemispheric Connectivity and the Visual-Spatial Divergent-Thinking Component of Creativity [J]. Brain & Cognition, 2009, 70: 267—272.
- [9] MILLER B L, CUMMINGS J, MISHKIN F, et al. Emergence of Artistic Talent in Frontotemporal Dementia [J]. Neurology, 1998, 51(4): 978—982.
- [10] KIM K H. Can we Trust Creativity Tests? A Review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT) [J]. Creativity Research Journal, 2006, 18(1): 3—14.
- [11] GIBSON C, FOLLEY B S, PARK S. Enhanced Divergent Thinking and Creativity in Musicians: A Behavioral and Near-Infrared Spectroscopy Study [J]. Brain Cogn, 2009, 69(1): 162—169.
- [12] HOWARD-JONES P A, BLAKEMORE S J, SAMUEL E A, et al. Semantic Divergence and Creative Story Generation: An fMRI Investigation [J]. Cognitive Brain Research, 2005, 25(1): 240—250.

- [13] MACDONALD A W, COHEN J D, STENGER V A, et al. Dissociating the Role of the Dorsolateral Prefrontal and Anterior Cingulate Cortex in Cognitive Control [J]. *Science*, 2000, 288(5472): 1835–1838.
- [14] ARON A R, FLETCHER P C, BULLMORE T, et al. Stop-Signal Inhibition Disrupted By Damage to Right Inferior Frontal Gyrus in Humans [J]. *Nature Neuroscience*, 2003, 6(2): 115–116.
- [15] DERRFUSS J, BRASS M, NEUMANN J, et al. Involvement of the Inferior Frontal Junction in Cognitive Control: Meta-Analyses of Switching and Stroop Studies [J]. *Human Brain Mapping*, 2005, 25(1): 22–34.
- [16] CARLSSON I, WENDT P E, RISBERG J. On the Neurobiology of Creativity. Differences in Frontal Activity Between High and Low Creative Subjects [J]. *Neuropsychologia*, 2000, 38(6): 873–885.
- [17] BERKOWITZ A L, ANSARI D. Expertise-Related Deactivation of the Right Temporoparietal Junction During Musical improvisation [J]. *Neuroimage*, 2010, 49(1): 712–719.
- [18] MIHOV K M, DENZLER M, FRSTER J. Hemispheric Specialization and Creative Thinking: A Meta-Analytic Review of Lateralization of Creativity [J]. *Brain Cogn*, 2010, 72(1): 442–448.
- [19] JUNG R E, SEGALL J M, BOCKHOLT H J, et al. Neuroanatomy of Creativity [J]. *Hum Brain Mapp*, 2009, 31(3): 398–409.
- [20] PETSCHKE H. Approaches to Verbal, Visual and Musical Creativity by EEG Coherence Analysis [J]. *International Journal of Psychophysiology*, 1996, 24(1–2): 145–159.

A Study of the Neural Mechanism Underlying Figure Imagination with Magnetic Resonance

SONG Zhe^{1,2}, HUANG Pei-yu^{1,2}, SHEN Lin^{1,2},
QIU Li-hua³, GONG Qi-yong³, XIE Peng^{1,2}

1. Institute of Neuroscience, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Neurobiology, Chongqing 400016, China;

3. Institute of MR, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, China

Abstract: Creativity is a complex neuropsychological process, including coordination of multiple brain regions. Evidence from previous study has implied a left frontal lobe suppression mechanism. However, it has not been observed directly. In this study, we recruited 28 healthy non-expert young volunteers to investigate their brain activities underlying figural creative thinking. When the subjects were making comparison between creative and uncreative tasks, we found increased activities in the left frontal lobe (ROI analysis, $p=0.037$), along with significant deactivations in the right frontal lobe (ROI analysis, $p=0.007$) and posterior cortices (FWE corrected, $p<0.05$), which may suggest a top-down control mechanism. Our study completed a depiction on how figural creativity is organized in human brain.

Key words: functional magnetic resonance; creativity; the left frontal lobe