

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：科学发明情境中问题提出的脑机制再探

作者：童丹丹 李文福 禄鹏 杨文静 杨东 张庆林 邱江

第一轮

审稿人 1 意见：

《科学发明情境中问题提出的脑机制再探》一文以生态学效度较高的科学发明问题情境作为实验材料，采用静息态功能磁共振成像技术，基于低频振幅(ALFF)和功能连接(RSFC)的分析方法，探讨了科学领域中创造性问题提出的脑机制。结果发现提出新颖有效性问题的比率与左内侧前额叶(Left media prefrontal cortex, L-mPFC)和右小脑前叶(Right cerebellum)的ALFF值显著正相关，此外还与mPFC和楔页(Cuneus)之间的功能连接强度显著正相关，揭示出mPFC及其与其它脑区的协同联结对于科学发明情境中问题提出具有重要作用。该研究选题具有较高的理论意义和基础科学研究价值，对以往文献的综述较为全面，问题提出有一定的新意。被试选取合理，方法使用恰当，统计分析结论可靠，讨论有一定的深度。同时也建议修改下列几个问题：

意见 1：文献综述中，建议作者对“已有研究对创造性问题提出的认知过程”或心理过程的相关成果进行较为详细的回顾，同时也应对以往研究者就问题提出的认知神经机制的研究发现进行详细回顾，在此基础上，再结合本研究所使用的静息态成像技术(包括两种分析方法)，提出具体的研究问题以及假设。此外，对一些重要的理论观点，例如““表征转变”和“原型启发”理论”，应引用文献进行介绍。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！我们在引言部分对创造性问题提出的认知过程的相关成果进行了更为详细的回顾，并对““表征转变”和“原型启发”理论”等重要的理论观点引用文献进行了补充介绍。现有的关于创造性问题提出的脑机制的研究很少，因此，我们仅对已有研究进行了更为详细的描述而没有进一步补充相关文献。在对已有研究的详细回顾的基础上，结合本研究所使用的静息态成像技术，我们补充提出了具体的研究问题及假设。

主要修改如下：

对创造性思维认知加工过程的探究是创造性研究的一个基本问题，已有研究对创造性问题提出进行了诸多探索(Dietrich & Kanso, 2010; 周丹, 施建农, 2005)。较为常见的研究方法

是通过呈现不同特征的问题材料来明确问题提出的关键要素。如将呈现式问题情境和发现式问题情境 (Runco & Okuda, 1988), 熟悉领域问题情境和陌生领域问题情境(吴真真, 张庆林, 2005), 真实情境和非真实情境(Runco, Illies, & Reiterpalmon, 2005), 实物材料和言语材料(陈丽君, 张庆林, 蔡治, 2006), 结构良好问题情境和结构不良问题情境(Lee & Cho, 2007), 矛盾式问题情境和潜藏式问题情境(陈丽君, 郑雪, 2011), 开放式问题情境和封闭式问题情境(Cheng, Hu, Jia, & Runco, 2016)等进行对比研究。结果发现, 问题情境是问题提出的关键因素, 并与如半球互动水平、知识水平、明确性指导语效应等交互对创造性问题提出产生影响(Cheng, Hu, Jia, & Runco, 2016; Lee & Cho, 2007; 王博韬, 段海军, 韩琴, 胡卫平, 2017)。此外, 认知抑制能力(胡卫平, 程丽芳, 贾小娟, 韩蒙, 陈英和, 2015)、人格特质(李海燕, 胡卫平, 申继亮, 2010; Paletz & Peng, 2009)、情绪和动机(Chen, Hu, & Plucker, 2016; 胡卫平, 周蓓, 2010)、学校环境(Han, Hu, Ku, Jia, & Adey, 2013; Jia., et al, 2017)等也是创造性问题提出重要的内外部影响因素。

“表征转变”理论认为人们在面对问题情境时, 倾向于根据问题情境所提示的方式来进行表征, 并在相应的错误问题空间内进行搜索。如果在问题空间内长时间找不到方法, 就需要在元水平空间中去搜索恰当的表征, 进入正确的问题空间, 最终使问题得以解决(Kaplan & Simon, 1990)。“原型激活”理论则认为当问题解决者遇到思维僵局时, 可以在表面无关但具有内在语义连接的原型材料的启发下, 打破原有的思维僵局, 将原型事物中所包含的启发信息运用到科学问题中, 从而进入正确的问题空间(张庆林, 田燕, 邱江, 2012)。

已有研究表明, 高创造性问题提出和低创造性问题提出个体在新颖观点产生、无关信息抑制等能力存在系统性差异(Dandan et al., 2013; 胡卫平, 程丽芳, 贾小娟, 韩蒙, 陈英和, 2015; 王博韬, 2013; 周襄, 2015)。内侧额叶被认为是新颖观点产生和评估的经典脑区, 且作为“意识努力”的关键点主要负责认知控制等思维过程(Beaty et al., 2016; Chen et al., 2014; Fink et al., 2010; Kounios et al., 2006; 罗劲, 张秀玲, 2006; Shamay-Tsoory et al., 2011; Talati & Hirsch, 2005)。据此, 我们假设内侧前额叶的 ALFF 值可能会与创造性科学问题提出有关。此外, 已有研究发现, 内侧前额叶作为默认网络的核心节点, 其与默认网络其他节点功能连接强度的增强在创造性观点产生中发挥重要作用(Takeuchi et al., 2012; Wei et al., 2013)。科学创造力与额叶、顶叶和扣带回有着密切的关系(Jung, Segall, Bockholt, Chavez, Flores, & Haier, 2010; Limb & Braun, 2008; 沈汪兵等, 2010)。据此, 我们选定内侧额叶为种子点并假设创造性科学问题提出的比率与内侧前额叶和后扣带/楔前叶(Takeuchi et al., 2012), 顶叶下叶(与空间表征和处理相关) (Gansler et al., 2011)等默认网络节点之间的功能连接强度呈显著正相关。

具体修改详见引言部分第 2、5、9 段。

意见 2：研究方法部分，对实验材料应详细介绍其编制过程、题目筛选过程、计分方法（补充分数高低或比率高低所代表的意义，同时最好说明为什么计分方法采用比率而不是累计总分）、信效度（如果可能）等。此外，统计分析部分所提出的感兴趣区(region of interest, ROI)，也需要在文献综述与问题提出部分重点论证。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！我们另外一篇题为《创造性科学问题提出材料的编制及效度研究》的文章已于 2019 年被《心理学探新》接收（暂未刊出），该文章较为详尽的介绍了实验材料的编制过程。为了便于读者更好的理解，我们根据审稿专家的建议分别在正文和补充材料部分补充介绍实验材料的编制细节。当前研究中采用的比率相当于是一种正确率，相对于累计总分更不容易受到施测题目个数的影响。此外，我们在文献综述部分补充论证了统计分析部分所提出的感兴趣区。

主要修改如下：

已有研究表明，有效性问题提出的比率与创造性成就测试分数相关显著，表明创造性科学发明问题提出材料能够在一定程度上预测到现实生活中创造性成就的高低，具有一定的有效性。此外，从事不同创新性工作的个体(研发类员工和操作类员工)在科学问题提出分数上差异显著，协变年龄和学历等额外变量后，结果发现研发类员工提出有效性问题的比率显著高于操作类员工，实验结果进一步在企业环境中验证了实验材料的有效性(童丹丹, 2017)。

新颖性问题的比率是指得分为非 0 分的题目占总测试题目的比率，新颖有效性问题的比率是指得分为 2 分的题目占总测试题目的比率。新颖性问题的比率越高，表明被试越能够打破旧的认知模式，跳出错误的问题空间，提出新颖性的问题；新颖有效性问题的比率越高，表明被试越能够通过思维重组或原型启发等认知过程，建立与任务目标相关的有效联结，提出有价值的问题。

具体修改详见补充材料（附录一）；引言部分第 9 段；方法部分 2.2 实验材料及 2.4 实验评分方法。

意见 3：研究结果部分，新颖性问题提出比率和新颖有效性问题提出比率的相关是多少？两列数据的最大值、最小值、得分范围（range）等也建议报告出来。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！根据审稿专家的建议，我们在文中补充了新颖性问题提出比率和新颖有效性问题提出比率两列数据的最大值、最小值、得分范围，相关值等。主要修

改如下：

对新颖性问题提出比率和新颖有效性问题提出比率在性别上做独立样本 *t* 检验，结果发现 2 个变量上均没有显著的性别差异($p > 0.05$)。具体为，在新颖性问题提出比率上，男性被试的正确率为 0.86 ± 0.19 ，女性被试的正确率为 0.90 ± 0.10 ，男女之间没有显著差异($p = 0.184$)；新颖有效性问题提出比率上，男性被试的正确率为 0.33 ± 0.27 ，女性被试的正确率为 0.33 ± 0.26 ，男女之间没有显著差异($p = 0.945$)。然后对新颖性问题提出比率和新颖有效性问题提出比率做相关分析，结果发现两列数据相关极其显著 $r = 0.343, p < 0.001$ 。创造性科学问题提出比率的平均数和标准差等见表 1。

表 1 创造性科学问题提出比率的平均数和标准差

测量指标	平均数	CI95%	标准差	最小值	最大值	得分范围
新颖性问题	0.89	0.86 ~ 0.91	0.14	0.11	1.00	0.89
有效性问题	0.33	0.28 ~ 0.38	0.26	0.00	0.89	0.89

具体修改详见方法部分 3.1 行为数据结果。

意见 4：讨论部分，除了讨论与左内侧前额叶(Left media prefrontal cortex, L-mPFC)和右小脑前叶(Right cerebellum)的 ALFF 值显著正相关等结果外，建议也要适当讨论科学这一特定创造性领域中问题提出的心理与认知神经机制，解释其与一般领域的不同、与其他特定领域(例如艺术、文学)的不同，因为这也是本研究一直在强调的一大特色和亮点。此外，建议在讨论部分增加对研究局限和未来展望的思考。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！根据您的建议，我们分别从科学创造力与其他领域创造力的认知机制异同的角度增加了对显著相关脑区结果的讨论，同时增加了对研究局限和未来展望的思考，进一步丰富了对创造性科学问题提出脑机制的理解。

主要修改如下：

本研究以高生态学效度的科学发明问题情境作为实验材料，采用静息态功能磁共振成像技术，基于低频振幅和静息态功能连接的分析方法，探讨创造性科学问题提出的脑机制。结果表明新颖有效性问题的提出是通过 mPFC 与其它脑区的协同联结来实现的，为进一步揭示科学创造力问题提出的神经机制提供了部分证据，是首个利用静息态数据指标对科学发明问题提出进行系统分析的研究。当前研究也存在某些不足，比如，研究中仅采用了静息态功能磁共振成像中较为基础的分析方法，缺乏其他模态的磁共振成像研究和更为复杂的脑网

络分析。因此,在未来研究中可以加入弥散张量成像技术(Diffusion Tensor Imaging, DTI)、动态因果模型(dynamic causal modeling, DCM)以及小世界网络分析(small-world network)等技术帮助我们更加全面地探索创造性科学问题提出的神经机制;当前研究是以成年人为被试的横断研究,为了探明到大脑发育过程与创造性问题提出之间的关系,应该考虑以儿童和青少年群体为被试的纵向研究。因此,未来的研究还可以开展纵向的追踪研究,探讨创造性问题提出脑机制在不同时期的变化;另外,脑的活动与创造的环境是密不可分的,要充分描绘创造性问题提出的认知神经机制,未来研究还必须综合考虑创造过程中脑与多重环境系统之间的相互作用,进行多层次的研究。

具体修改详见讨论部分。

意见 5: 最后,文字表述和标点符号的使用可进一步提高准确性,例如“Chávez-Eakle 等发现图画创造性任务得分高的被试出现了右前小脑的显著激活(Chavez, Graff-Guerrero, Garcia-Reyna, Vaugier, & Cruz-Fuentes, 2004)。并进一步在托兰斯创造性问卷上成绩较高的被试中发现的右侧小脑脑血流量的显著增加(Chávez-Eakle, Graff-Guerrero, García-Reyna, Vaugier, & Cruz-Fuentes, 2007)。”

回应: 感谢审稿专家的批评!根据审稿专家的建议,我们通读全稿,将文字表述和标点符号使用不准确的地方进行了仔细的修改。如将文中前言部分的“范亮艳 et al., 2014; 李文福 et al., 2016”修改为“范亮艳 等, 2014; 李文福 等, 2016”;方法部分的“张庆林 et al., 2012”修改为“张庆林,田燕, 邱江, 2012”;“问题情景”修改为“问题情境”;“质量的影响。”修改为“质量的影响。”;讨论部分的“反应”修改为“反映”等。

.....

审稿人 2 意见:

文章以高生态学效度的科学发明问题情境作为实验材料,采用静息态功能磁共振成像技术,以低频振幅(ALFF)和功能连接(RSFC)为计算指标,探讨了创造性科学问题提出的脑机制。以下是几点建议,与作者探讨。

意见 1: 文中“楔叶”出现 8 次,“楔页”出现 7 次,不知是书写错误还是怎么回事,请作者澄清。另有几处该用中文逗号而用了英文逗号的地方(如第四页最后一段:创造性问题解决已被证明是一项需要全脑参与的复杂认知过程,涉及不同脑区间的功能协作),还有几处有明显的翻译痕迹,请作者通读全稿,彻底消灭这些问题。

回应：感谢审稿专家的批评！根据审稿专家的建议，我们通读全稿，将文字表述和标点符号使用不准确的地方进行了仔细的修改。如将文中的“楔页”全部统一修改为“楔叶”；文中前言部分的“范亮艳 et al., 2014; 李文福 et al., 2016”修改为“范亮艳 等, 2014; 李文福 等, 2016”;方法部分的“张庆林 et al., 2012”修改为“张庆林,田燕, 邱江, 2012”;“问题情景”修改为“问题情境”;“质量的影响,。”修改为“质量的影响。”;讨论部分的“反应”修改为“反映”等。

意见 2：RSFC 是翻译为静息态功能连接还是功能连接更合适，请作者斟酌。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！根据审稿专家的建议，我们将文中 RSFC 统一翻译为静息态功能连接。

意见 3：第四页：例如，从实验材料来看，已有研究较多基于为数不多的简单物品、文字图片或人为设定的问题情境研究创造性问题提出过程，较少使用真实情境的实验材料对问题提出进行测量。此外，已有实验材料多为发散性思维测验从独特性、灵活性和流畅性的维度进行评价，缺少对有效性(适宜性)的探讨。----请在参考文献中列出相关已有研究。

回应：感谢审稿专家的批评！根据审稿专家的建议，我们在引言中补充列出了相关的已有研究。主要修改如下：

例如，从实验材料来看，已有实验材料多为从独特性、灵活性和流畅性的维度进行评价的发散性思维测验(Hu & Adey, 2002; Hu, Shi, Han, Wang, & Adey, 2010;申继亮, 胡卫平, 林崇德, 2002; Torrance, 1966)，缺少对有效性(适宜性)的探讨。此外，已有研究较多基于为数不多的简单物品、文字图片或人为设定的问题情境研究创造性问题提出过程(陈丽君, 郑雪, 2011; Runco, Illies, & Reiterpalmon, 2005; Runco & Okuda, 1988; Torrance, 1966)，较少使用真实情境的实验材料对问题提出进行测量。

具体修改详见引言部分第 3 段。

意见 4：第四页：童丹丹(2017)基于“表征转变”和“原型启发”理论，-----这两个理论作为本研究的基础理论，应该给予适当的描述，以便非本领域的读者了解这两个理论的核心内容。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！根据审稿专家的建议，我们在引言中补充描述了“表征转变”和“原型启发”理论的核心内容。主要修改如下：

“表征转变”理论认为人们在面对问题情境时，倾向于根据问题情境所提示的方式来进行表征，并在相应的错误问题空间内进行搜索。如果在问题空间内长时间找不到方法，就需要

在元水平空间中去搜索恰当的表征，进入正确的问题空间，最终使问题得以解决(Kaplan & Simon, 1990)。“原型激活”理论则认为当问题解决者遇到思维僵局时，可以在表面无关但具有内在语义连接的原型材料的启发下，打破原有的思维僵局，将原型事物中所包含的启发信息运用到科学问题中，从而进入正确的问题空间(张庆林,田燕, 邱江, 2012)。

具体修改详见引言部分第 5 段。

意见 5: 2.1 被试部分，统计功效检验 effect size = 0.25 请给出具体的效应量指标。

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见！Cohen (1969)提出效应量指标 f^2 用于多元回归、层次多元回归和方差分析中(郑昊敏, 温忠麟, 吴艳, 2011)，因此，当前研究中的效应量指标为 f^2 。我们很抱歉没有在文中标注清楚，根据您的建议，我们在被试部分增加了具体的效应量指标。主要修改如下：

为检验样本量是否充足，采用 G* Power 3.1(Faul, Erdfelder, Buchner, & Lang, 2009)软件进行 Post hoc 统计功效检验(effect size (f^2) = 0.25, α = 0.05)，结果显示 power = 0.99，表明样本量充足。

具体修改详见方法部分 2.1 被试。

参考文献：

郑昊敏, 温忠麟, 吴艳. (2011). 心理学常用效应量的选用与分析. *心理科学进展*, 019(012), 1868-1878.

意见 6: 2.4 部分：在结合已有理论和当前范式的基础上-----与其说已有理论，不如直接说明是哪些理论

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见！根据审稿专家的建议，我们修改了 2.4 部分的含糊表述。

主要修改如下：

基于“表征转变”理论与“原型激活”理论制订了创造性科学问题提出材料的评价标准(Kaplan & Simon, 1990; 张庆林, 田燕, 邱江, 2012)。

具体修改详见方法部分 2.4 实验评分方法。

意见 7: 引言部分的逻辑还需要进一步加强。引言部分用了 7 段，但段与段之间缺乏清晰的逻辑，因而显得不够聚焦。本研究是一项静息态 fMRI 研究，引言部分引用了王博韬(2013)的 EEG 研究和周寰(2015)的 ERP 研究不知道想要支持什么，支持空间定位的话，或许用相关的 fMRI 研究更好，时间定位又不是本研究的关注点。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！引言部分第五段旨在综述创造性问题提出神经机制的已有研究，然而采用磁共振成像技术的研究很少。因此，为了对创造性问题提出的神经机制的研究发现进行详细回顾，我们在综述部分也引用了 EEG 和 ERP 的相关研究。引言部分的逻辑不够清晰造成了理解上的困难，为使引言部分更聚焦和可读，我们在修改稿中重新梳理了各段落之间的逻辑关系。具体修改详见引言部分。

意见 8：讨论部分的逻辑也需要进一步加强，引用的文献都应该直接或间接的支持自己的结果。对原文献的研究结论描述的过多，但原文献和本研究结果之间的逻辑关系缺乏清晰明了的表述。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！根据审稿专家的意见，为使讨论部分更加清晰与精炼我们对引用的文献进行了适当的删减。同时，为使讨论部分更加具有说服力和逻辑性，我们增加了对引用文献和研究结果逻辑关系的论述。具体修改详见讨论部分。

第二轮

审稿人 2 意见：

文章以高生态学效度的科学发明问题情境作为实验材料，采用静息态功能磁共振成像技术，以低频振幅(ALFF)和功能连接(RSFC)为计算指标，探讨了创造性科学问题提出的脑机制。结果表明：mPFC 对于科学发明情境中问题提出的重要作用，且更高比率的新颖有效性问题的提出是通过 mPFC 与其它脑区的协同联结来实现的。与初稿相比，作者认真踏实的答复了针对初稿的审稿意见，本修改稿质量有明显的提升。以下问题与作者探讨：

意见 1：方法部分 2.3 和 2.4 其实是行为数据的收集，2.5 是静息态磁共振数据的采集。这三个小标题的名称或可更为具体一点(最好和结果部分对应起来)。如 2.3 的标题是实验程序，但这其实只是整个实验的一部分，2.4 实验评分方法，其实是对新颖性问题的比率和新颖有效性问题的比率这两个概念的操作界定。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！为了将方法部分和结果部分对应起来以便于读者理解，我们将方法部分 2.3-2.7 的标题进行了修改。将原来的“2.3 实验程序”和“2.4 实验评分方法”合并修改为“2.3 行为数据的收集与评价”，将原来的“2.5 数据采集”和“2.6 数据预处理”合并修改为“2.4 静息态数据采集与预处理”。

具体修改详见方法部分 2.3-2.5。

意见 2: 建议说明行为数据和磁共振数据采集的先后顺序,这样便于消除误解:实验流程图中的任务是在核磁扫描过程中进行的。

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见!我们很抱歉没有在文中描述清楚,根据您的建议,我们在被试部分增加了行为数据和磁共振数据采集的先后顺序的说明。主要修改如下:

所有参与者视力或矫正视力正常,无精神疾病史和手术外伤史,具有电脑操作技能,实验前未接触过实验材料。被试进入实验室后,首先签署知情同意书。然后由主试介绍实验程序,被试在扫描室外完成行为实验,然后由扫描员将其送入扫描室,进行静息态扫描。实验后给予适当报酬。该研究所有试验程序和处理皆通过了学术伦理委员会的批准。

具体修改详见方法部分 2.1 被试部分。

意见 3: 有几处的标点符号和语言表述(如 2.7 统计分析第三行)仍需进一步修改。

回应: 感谢审稿专家的批评!根据审稿专家的建议,我们多次通读全稿,将标点符号和语言表述使用不准确的地方进行了仔细的修改。如将文中引言部分的“张庆林,田燕,邱江, 2012”修改为“张庆林, 田燕, 邱江, 2012”;“结果发现高创造性科学问题提出个体在新颖性评价任务中在 P 3 成分波幅值上存在显著差异”修改为“发现高创造性科学问题提出个体在新颖性评价任务中的 P 3 成分波幅值上存在显著差异”;方法部分的“为检验样本量是否充足”修改为“为检验样本量是否合理”;“得到的的值”修改为“得到的值”等。此外,为了更好的便于读者理解实验流程,我们补充完善了实验流程图。