

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：科学发明问题解决的脑机制再探

作者：李文福、童丹丹、张庆林、邱江

第一轮

审稿人 1 意见：本文采用新的脑成像分析方法研究了与个体在原型激活条件下的科学发明能力相关的脑静息状态的局部功能区域特征，为创造力的个体差异研究提供了新的视角和知识。具体修改意见：

意见 1：应充实对局部一致性（regional homogeneity, ReHo）这一对大多数读者而言是较新的分析方法的介绍，除介绍其分析原理之外，还应对 a) ReHo 分析的适用范围; b) ReHo 分析能够揭示什么样的脑功能特征; c) 用 ReHo 分析得到的脑功能特征与其它的脑功能分析指标之间存在什么样的相互关系; d) 目前研究者已经利用 ReHo 分析开展了哪些方面的研究工作以及这些研究工作能够揭示什么样的新规律等方面进行介绍。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！我们增加了对局部一致性分析原理、计算方法等的介绍。具体修改详见引言部分。

意见 2：应对为什么要用 ReHo 分析来研究原型激活条件下的科学发明能力做出科学的说明，仅仅说前人未做是不够的，还要说明理论上的考量和依据（为什么使用 reho），特别地，应从个体的创造能力与静息状态下的脑功能运作特征的相互关系入手来说明这个问题。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！创造性是一个复杂的过程，需要多个脑区协同合作来寻求顿悟的产生，因此，已有的静息态分析方法对创造性的研究多采用基于种子点的功能连接方法，期待发现创造性过程中各个脑区之间的联系。但是，该方法仅仅主要是对与创造性有关的长距离功能连接进行探索，缺乏对脑区内自发 BOLD 信号的局部活动特性的关注。此外，在采用功能连接方法时，由于种子点选取的不同还会产生不一致的结果。而对与创造性有关的关键脑区进行探讨也是很重要的。ReHo 用于反映静息状态下某一给定体素与其相邻体素之间神经元活动一致性情况，既弥补了功能连接的不足，又帮助我们从小局部活动特性的角度来了解创造性。我们在原有的引言部分适当的增加了用 ReHo 分析来研究原型激活条件下的科学发明能力的说明。

意见 3：尽管在此前的研究报告中可能已经报告过对有关原型激活条件下的科学发明过程加以研究的实验程序，但就本文的而言，其程序和方法应该是自明的，即：其说明应详细到读者在不参阅其他任何文献的情况下也完全能搞懂的程度。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见！我们增加了对本研究实验程序的更细致描述。具体修改详见 2.3 实验程序部分。

意见 4：仅利用科学发明的原型激活作为个体创造发明能力的指标略显不足（——毕竟这种能力要比以往 ReHo 研究所探索的诸如抑制能力更加高级更加复杂也更易受到其他因素的影响，而其稳定性可能也还比不上智商之类已良好确立的指标），作者最好是也能同时报告一些公认的、能够反映个体创造力个体差异的指标，如创造力倾向以及个体在真实生活中的创造能力等指标，计算这些指标与原型激活条件下的科学发明能力之间的相关性，并在（像

控制年龄和性别那样)控制这些指标的情形之下检测与原型激活条件下的科学发明能力相关的 ReHo 特征, 这样说服力会强一些。

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见! 已有的创造性倾向高低是根据《威廉姆斯创造性倾向测验》来进行测量的, 创造性倾向测验包括好奇心、想象力、挑战性、冒险性四个因素, 该量表被广泛应用且被认为具有较好的信效度(王立永等, 2006; 张丽华, 白学军等, 2008)。已有研究使用科学发明问题解决材料已经发现创造问题解决的测试分数与创造性倾向测验总分及维度得分之间有显著的正相关(朱丹等, 2011; 朱海雪等, 2012), 结果说明该研究材料具有比较好的稳定性。因此, 在目前的研究中没有收集创造性倾向及其他创造性能力指标。这是我们研究的不足, 我们会在研究不足中加以阐释并在后续研究中进行改进和补充。具体修改详见讨论与不足部分。

意见 5: 请说明在静息态数据的采集过程中是否考虑了被试的疲劳、情绪状态以及其他生理状态方面的因素。

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见! 我们尽量考虑了疲劳、情绪等因素。我们的实验会让被试提前一天学习实验材料, 同时也会告知被试为保证第二天的实验, 希望他们按时休息, 正常饮食。被试来参加试验时, 也会注意被试的状态, 是否有过于紧张、焦虑的个体。在扫描静息态的指导语上也会强调被试尽量保持情绪平静, 安静休息状态, 减少由于被试本身状态对实验数据的污染。

审稿人 2 意见: 创造性或者创新是推动我国国家创新驱动战略的重要内容和理论基础。对该课题中创造发明机制进行研究具有非常重要的理论和现实意义。本文首先从静息态角度探讨了创造发明材料诱发创造发明的脑机制, 具有相当的创新性。但研究中仍存在问题需要作者完善和改进。

意见 1: 研究中使用了两类材料, 创造性发明材料和常规性材料, 虽然作者阐述了两类材料作为创造性或常规性的依据, 但是目前提供的相关依据仍非常有限, 建议进一步增强说服力。

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见! 我们增加了对创造性材料和常规性材料的描述并举例进行说明。此外, 在附录材料中, 我们也增加了常规性材料的部分例子。具体修改详见 2.2 部分。

意见 2: 作者对待讨论较简单, 篇幅寥寥, 不够深入, 建议进一步增强。另外文中选择了 ReHo 来计算与行为指标之间的相关, 静息态目前常用的指标还有 Alff 或 falff, 为什么本文主要是选择现有指标而不选择其他指标, 最好建议说明, 若能补充 alff 的证据, 一方面不仅能够增强本文的说服力, 另一方面也能为本研究在创造性静息态研究中的地位奠定系统性基础。建议作者根据自身情况, 妥善处理。

回应: 感谢审稿专家的宝贵意见! 根据您的意见, 我们增加了对本研究结果的讨论。此外, 我们补充了 ALFF 的分析结果, 并发现 ReHo 和 ALFF 的结果具有较大的吻合性。在文章引言, 方法, 结果部分对 ALFF 的有关信息进行了补充说明。

意见 3: 作者根据当前研究中实际, 建议最好在修改版本中增加一个本研究不足的阐述。例如, 比如目前版本中新增加的常规材料的筛选等方面的问题。毕竟创造性在本研究是个人视角而非社会视角的, 但既然是个人视角, 那么就有个体差异, 就拿熟知的九点问题而言, 对作者和我们可能都是熟悉的, 不具有创造性的, 但对其他个体我们并不能保证它是由个人创造性的或不具有个人创造性的。

回应: 感谢审稿专家的批评! 根据审稿专家的建议, 我们将表述不够清楚的地方进行了仔细

的修改，并增加了研究不足部分对该问题进行说明。

第二轮

编委专家意见：作者根据审稿意见作了认真修改，基本可以接受了。但英文摘要中有一些小的语法错误，比如第三句“Scientific innovation is one of the most important form of creative thinking” form 应改为 forms。这样的语法错误还有一些。解剖名字前应加 the，如 the anterior cingulate cortex, the ACC. 另外，ReHo 和 ALFF 并不是都测量 local synchronization，建议改为 local properties。

回应：非常感谢编委专家的辛勤工作和对文章的宝贵意见。我们对英文摘要的语法和表达错误进行了仔细修改，并请其他同行专家进行了审阅，以尽可能避免出现错误。具体修改请见英文摘要部分。

第三轮

主编终审意见：作者采用静息态功能磁共振成像技术，探讨了科学发明问题解决的神经机制。作者对审稿专家的意见一一作出了回应和相应的改动，建议在以下一些方面进一步完善：

意见 1：创造力包含很多方面，比如发散思维，比如顿悟，本文试图考察的是科学发明问题解决的脑机制。建议作者对这种创造力的独特性和重要性以及为什么需要对其脑机制进行考察做进一步说明和阐释。

回应：非常感谢主编的宝贵意见！正如专家所言，创造性研究所涉及的任务大致包括发散性思维任务、艺术创造性和顿悟问题解决三种(Dietrich & Kanso, 2010)。本研究所使用的科学发明问题材料在性质上来说属于顿悟问题。其他常使用的顿悟问题有远距离联想问题(Jung-Beeman et al., 2004)、谜语问题(Luo & Niki, 2003)和字谜问题(Qiu et al., 2010; Qiu et al., 2008)等。这些材料满足了顿悟神经机制研究所需要的在有限的时间之内诱发出多次顿悟事件的苛刻条件(罗劲, 2004)，但是，科学发明作为人类最重要的发明创造活动却没有得到足够的研究(Boden, 1994)。国内学者张庆林等(张庆林, 田燕, 邱江, 2012; 张庆林, 邱江, 2005; 张庆林, 邱江, 曹贵康, 2004)根据其提出的顿悟的“原型启发”理论，从现实世界发生过的科学发明实例中筛选材料，编制成《科学发明创造实验问题材料库》(朱丹, 罗俊龙, 朱海雪, 邱江, 张庆林, 2011)，该材料库包含 84 项来源于科学发明实际的例子，在材料特点上具有较高的生态学效度。另外，创造性问题解决离不开已有知识的储备和对已有知识的利用、创新，在本研究中通过让被试学习科学发明问题有关的原型材料，在一定程度上保证了被试在与问题解决有关的知识储备上是相同的，在这一点上和以往的顿悟研究是不同的，更好地控制了被试问题解决中由于旧知识储备的不同带来的影响，从而使研究结果更能反映创造性思维能力。综合以上说明，可以看出本研究的独特性一方面在于使用的材料更具有生态学效度，另一方面在认知机制上来说，更能反映被试在创新能力上的差异。使用科学发明问题材料研究顿悟的脑机制，获得的结果可能更能揭示人类创造发明实际，具有较高的独特性和重要性。在文章中我们补充了有关说明，以期在一定程度上阐明这个问题。

意见 2：文中多处讨论科学发明问题解决可能的脑机制时，引用了关于发散思维和顿悟的研究，建议作者进一步阐明二者与科学发明问题解决的关系；此外，作者采用的是“原型激活”的方法，这种方法常用于顿悟的研究，建议作者补充说明科学发明问题解决与顿悟之间的异同。

回应：感谢主编老师的宝贵意见！正如您第一点意见所说“创造力包含很多方面，比如发散思维，比如顿悟……”。在传统上，对创造性的研究大都采取了发散思维或顿悟问题，而采用科学发明问题材料对顿悟问题解决进行探索，是国内最近几年才慢慢开展起来的尝试(田燕, 罗俊龙, 李文福, 邱江, 张庆林, 2011; 朱丹 等, 2011; 朱海雪 等, 2012)。从本质上来说，科学发明问题属于顿悟范畴，是国内学者根据顿悟的“原型启发”理论收集并编制的，使用科学发明问题作为研究顿悟的材料，在生态学效度上优于以往顿悟研究中使用的谜语(Luo & Niki, 2003)或字谜(Qiu et al., 2010) 等材料。更为重要的是，科学发明中的问题解决往往离不开对已有知识的掌握和利用，以及在一定程度上的创新，“原型”本质上就是已有知识在头脑中的表征或存储，“原型启发”本质上就是运用旧知识过程中的创造新知识，在这一点上与传统的发散思维的测试和顿悟问题解决的测试是不同的。在传统的发散思维的测试和顿悟问题解决的测试中，被试虽然也用到日常生活中的知识经验，但是被试之间在这一方面的差异是无法控制的，影响到了被试在答案上的差异的解释唯一性，即在多大程度上反映的是创新能力的差异，在多大程度上是反映的是已有知识经验的差异。而在原型启发的范式中，研究所使用的材料基本是被试首次见到，保证了原型知识都是在实验中“新学习的知识”，被试之间都是相同的（内容相同、记忆的新近程度相同），所以如果产生问题解决的差异，就是“运用旧知识于表面上不相关的问题情境中”的能力上的差异，是运用旧知识产生新知识的能力差异。这正是本研究要探究的能力。在文章中我们补充了关于科学发明问题解决和顿悟问题解决之间的关系的说明。

意见 3：文中提到，“科学发明问题解决的脑机制到目前为止还没有达成共识”，建议作者具体说明目前研究结果的不足或矛盾点。

回应：感谢主编老师的建议！文章中使用的科学发明问题材料是新近编制的(朱丹等, 2011)，对于其脑机制的研究目前正在探索初期，主要对科学发明问题解决中的原型启发效应(Luo et al., 2013)、插图对科学发明问题解决的影响(Tong et al., 2015)、科学发明问题解决中的原型位置效应(朱海雪 等, 2012)、突出关键信息对科学发明问题解决的影响(Hao et al., 2013)等，每项研究从不同的侧面对科学发明问题解决的神经机制进行了探索，由于范式和任务的差异，得到的结果也很难进行直接比较，所以文章中说“还没有达成共识”。在修改稿中我们对相关信息进行了补充，将研究中的不足进行了详细说明。

意见 4：本文采用的是静息态功能磁共振成像研究，作者提到，“到目前为止还没有发现利用这种技术对现实生活中发生的科学发明问题解决的脑机制进行研究”，建议作者补充说明为什么需要这样的研究方法。审稿专家一也曾提及这个问题，作者对审稿专家的回答，要比正文中的描述更为清晰，建议可以借鉴此处的回答。

回应：非常感谢主编老师的建议！在修改稿中我们根据审稿专家的意见，将相关回复内容加到了正文中。

意见 5：术语的使用上，作者有时会使用“创造发明问题解决”，有时会用“科学发明问题解决”，有时会用“创造性问题解决”，建议作者对其用法进行统一，避免混淆。

回应：感谢主编老师的建议！在修改稿中我们对术语进行了统一，一致使用“科学发明问题解决”这一说法。