

• 研究构想(Conceptual Framework) •

创造发明中顿悟的原型启发脑机制*

罗俊龙 覃义贵 李文福 朱海雪 田 燕 邱 江 张庆林

(西南大学心理学院, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘 要 科学界关于“原型启发”催化创造发明中顿悟发生的事例十分普遍, 从中国的“鲁班从带齿边的茅草中得到启发而发明锯子”的传说, 到“瓦特从沸腾的开水壶上受到启发而发明蒸汽机”的经典故事, 都说明“原型启发”是创造发明的一种重要思维方式。然而, 由于创造发明思维过程的复杂性, 国内外关于创造性思维脑机制的研究还停留在非科学问题解决的研究上。依据科学家运用原型启发而成功发明创造的最新实例, 项目组编制了《创造发明实验问题材料库》, 并计划以功能性磁共振成像(fMRI)和事件相关电位(ERP)作为技术手段系统探讨原型启发催化创造发明中顿悟发生的脑机制, 例如, 原型激活和启发信息利用的脑机制、问题意识下灵感捕捉的脑机制以及原型知识表征、动机与情绪状态、大脑工作状态等因素对原型启发影响的脑机制。该研究的开展, 对理解人类的创造性本质具有重要的理论意义, 对培养和激发人的创造力具有一定的实践价值。

关键词 创造发明; 顿悟; 原型启发; 脑机制

分类号 B842

1 国内外顿悟脑机制研究现状

创造性是人类文明的源泉(Dietrich & Kanso, 2010)。创造性思维发生的一个重要特征就是它的突然性(Dietrich, 2004), 所以顿悟成为心理学的一个重要研究领域。顿悟被认为是突然地、直觉性地以及清晰地获得问题解决过程(Bowden, Jung-Beeman, Fleck, & Kounios, 2005)。它包含三个要素: 一是旧的无效的思路被抛弃(即打破思维定势); 二是新的有效的问题解决思路的实现(新异联系的形成)(罗劲, 2004); 三是会有一种恍然大悟的感觉, 伴随着强烈的“啊哈”体验(Bowden & Jung-Beeman, 2007; Bowden et al., 2005)。这三个要素是判断顿悟是否发生的标准。

随着认知神经科学的兴起和发展, 研究者们(Lavric, Forstmeier, & Rippon, 2000; Luo & Niki, 2003; Luo, Niki, & Phillips, 2004)开创性的使用脑电(electroencephalogram EEG / event-related

potential ERP)以及功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging fMRI)技术对顿悟问题进行考察, 这为探索顿悟的脑机制提供了较为直接的方法, 同时也掀起了国内外研究顿悟脑机制的热潮。

1.1 国内顿悟脑机制研究

国内, 研究者们基本以 fMRI 与 ERP 为技术手段, 而且在实验材料上也表现出了很大程度上相似性, 采用谜语或与汉字生成有关的任务。

1.1.1 fMRI 研究

罗劲等人首先采用传统的谜语作为实验材料, 通过向被试呈现标准答案来“催化”顿悟的过程(Luo & Niki, 2003; Luo et al., 2004; 罗劲, 2004), 结果发现前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)、左腹外侧前额叶(left ventral lateral prefrontal cortex, LVPFC)、以及海马(hippocampus)等脑区参与了顿悟问题解决过程。其中, 他们 2003 年在 *Hippocampus* 杂志上报告的结果是第一项有关人类顿悟过程的脑成像研究(罗劲和张秀玲, 2006)。随后, 他们(Luo, Niki, & Knoblich, 2006)采用汉字组块破解任务进一步对顿悟问题进行探讨, 发现早期的知觉过程对问题解决有至关重要的作用。

收稿日期: 2011-11-01

* 国家自然科学基金项目(31170983)资助。

通讯作者: 张庆林, E-mail: zhangql@swu.edu.cn

注: 覃义贵共同为第一作者

最近, 邱江和张庆林等(2010)采用字谜作为实验材料, 在“学习-测试”范式下通过提供启发信息探讨了被试主动获取答案的顿悟过程, 发现楔前叶(precuneus)、左侧额下/中回(left inferior/middle frontal gyrus)、枕叶下回(inferior occipital gyrus)和小脑(cerebellum)等脑区参与了顿悟过程。在该研究基础上, 田芳等人(Tian et al., 2011)进一步分析了测试字谜谜面出现之前的准备状态对顿悟问题解决影响的脑机制, 发现左侧额中/前回(left middle/medial frontal gyrus)、左颞中/上回(left middle/superior temporal gyrus)、右小脑(right cerebellum)以及左侧中央后回(left postcentral gyrus)等脑区参与了对顿悟问题正确解决的准备状态。

1.1.2 ERP 研究

在答案催化顿悟范式下, 买小琴等人(Mai, Luo, Wu, & Luo, 2004)同样以谜语作为实验材料, 首先考察了谜语问题解决中答案呈现后的脑内时程动态变化, 发现答案呈现以后, “有顿悟”比“无顿悟”诱发了一个更加负性的 ERP 成分(N380), 他们认为该成分可能反映了顿悟问题解决过程中思维定势的打破。类似于买小琴等的研究范式, 邱江等人(2006)也采用呈现答案催化顿悟的方式, 考察了字谜问题解决过程中顿悟的脑内时程动态变化, 发现“有顿悟”和“不理解”比“无顿悟”诱发了一个更加负性的 ERP 成分(N320)。研究者认为该负成分反映了新旧思路之间的认知冲突。最近, 沈汪兵等人(2011)采用同样的催化顿悟范式, 考察了三字字谜问题解决中谜底所诱发顿悟的时间进程以及半球差异, 结果发现谜底出现后, “有顿悟”和“不理解”比“无顿悟”诱发了一个更负的 ERP 成分(N380), 研究者认为 N380 可能反映了顿悟中舍弃强外显意义而选择弱内在隐喻意义的认知抉择过程, 而且右半球在“顿悟”中表现出优势效应。

在“学习-测试”范式下, 邱江和张庆林等人以字谜为实验材料, 开展了一系列有关字谜问题解决过程中谜面出现后的脑内时程动态变化研究。例如, 邱江和张庆林(2007)首先操纵了两个实验条件, 一类是“真配对”条件, 即学习字谜的解决方法可以用以测试字谜的解决; 一类是“再认”条件, 即学习字谜和测试字谜是一样的, 发现测试字谜谜面呈现后的 300~350 ms 和 600~700ms 内, “猜中”比“再认”分别诱发出一个更负的 ERP 成分

(N350)和一个更正的 ERP 成分。随后, 邱江等人(Qiu et al., 2008b)除了考察“真配对”条件外, 还操纵了一类“假配对”条件, 即学习字谜和测试字谜之间没有解决方法上的共通性, 结果发现成功解决字谜比没有解决的情况在测试字谜谜面呈现后的 200~600ms 内诱发了一个更加的 ERP 成分(P200-600), 在 1500~2000 ms 和 2000~2500 ms 内诱发了更负 ERP 成分(N1500~2000 和 N2000~2500)。在该研究(Qiu et al., 2008b)基础上, 他们(Qiu, Li, Jou, Wu, & Zhang, 2008a)进一步分析了谜面出现之前的准备状态对顿悟问题解决影响的 ERP 效应, 结果发现测试字谜在谜面出现之前的-1000 到-800ms 内, 成功解决字谜比没有解决的情况诱发了一个更正的 ERP 成分。最近, 罗俊龙等人(Luo et al., 2011)又进一步细化出了三个实验条件, 一类是表面相似性条件, 学习字谜和测试字谜在谜面上有相同的文字; 一类是结构相似性条件, 学习字谜和测试字谜在谜面上没有相同的文字; 一类是简单的基线条件, 学习字谜和测试字谜都是简单字谜任务, 结果发现测试字谜谜面出现后的 300~500ms 以及 1000~1300ms 内结构相似性比表面相似性均诱发了更负的 ERP 成分, 900~1700ms 内表面相似和结构相似均比基线条件诱发更正的 ERP 成分。

此外, 一些研究者或从不同角度或用其他范式或以新的汉字生成任务为顿悟问题对顿悟的脑机制进行了考察。例如, 唐晓晨等(2009)利用汉字组块破解任务和 ERP 技术从蔡格尼克效应的角度探讨了大脑左右半球在问题求解失败以及关键提示信息出现两阶段的脑内时程动态变化, 结果发现问题求解失败在右半球诱发了更大的 P150 成分; 对于没解决的问题在提示信息出现后也在右半球有明显分布。还例如, 王婷等(Wang et al., 2009)在没有任何提示信息下直接呈现字谜的谜面让被试进行问题解决, 他们主要考察了谜面出现后的脑内动态时程变化, 发现在额中部顿悟问题比常规问题诱发了更负的 ERP 成分(N300-800 和 N1200-1500); 在顶枕部顿悟问题比常规问题诱发了更正的 ERP 成分(P300-800 和 P1200-1500)。再例如, 类似 Aziz-Zadeh 等(Aziz-Zadeh, Kaplan, & Iacoboni, 2009)使用的变位字谜任务(anagrams, 例如由几个颠倒顺序的字母“oxmia”来生成一个单词“axiom”), 张猛等(Zhang, Tian, Wu, Liao, & Qiu, 2011)以汉字为实验材料(如, 由“慧”生成

“想”)让被试报告在问题解决过程中是通过顿悟还是搜索得到的答案,结果发现顿悟答案比搜索答案诱发了更正的ERP成分(P200-600和P640-780)。

1.2 国外顿悟脑机制研究

国外,有关顿悟脑机制研究的技术手段上较国内更具多样性。除了fMRI和ERP外,EEG以及PET(positron emission tomography)也被研究者用于探讨顿悟的大脑奥秘。在实验材料上,国外研究采用了不尽一致的顿悟性问题,这些问题之间甚至缺乏可比性。

1.2.1 脑成像研究(fMRI和PET)

Jung-Beeman和Bowden等人(Bowden & Jung-Beeman, 2007; Bowden et al., 2005; Jung-Beeman et al., 2004)一直致力于揭示顿悟的大脑机制。他们(Jung-Beeman et al., 2004)利用fMRI技术考察了被试顿悟性地解决远距离联想任务(例如,呈现pine、crab、sauce三个词,要求被试找到一个词使其与任意一个能组合成常见的新词的神经活动。结果发现,顿悟激活的脑区主要位于右半球前颞上回(right hemisphere anterior superior temporal gyrus)。因此Jung-Beeman等认为,右侧前颞区负责在原本不相关的信息之间建立新的联系。

不过,在一系列其他研究中,研究者们发现大脑的双侧不同脑区均参与了顿悟性的问题解决过程。例如,Rose等(Rose, Haider, & Büchel, 2005; Rose, Haider, Weiller, & Büchel, 2002)采用fMRI技术对减数字任务(Number Reduction Task)的探讨;Starchenko等(2003)采用PET技术对不同词(12个)用其他词进行连接任务的探讨;Kounios等(2006)采用fMRI技术进一步对远距离联想任务的探讨;Aziz-Zadeh等(2009)采用单次fMRI技术对变位字谜(anagrams)的探讨;Bechtereva等(2004)采用PET技术对远语义距离词(16个)编故事以及不同词(12个)用其他词进行连接任务的探讨等。

1.2.2 EEG/ERP研究

采用EEG/ERP对顿悟进行研究,最早可追溯到Lavric等(2000)对经典的顿悟问题(例如,蜡烛和双绳问题)的探讨,结果发现分析性问题(四卡问题)比顿悟问题在头皮的前部诱发了更正的P300成分,据此,研究者认为顿悟问题解决较少依赖计划以及工作记忆。此后,研究者们利用

EEG/ERP技术展开对该领域不同实验任务的探索。例如,Danko等(2003)采用EEG对不同词连接性的顿悟问题(同Starchenko et al., 2003)进行了探讨,结果发现顿悟问题在前额区域的各个频段表现出了较低的一致性,顶区和额区的 α 事件同步性降低,而在颞区增强。Lang等(2006)利用EEG/ERP对减数字任务(同Rose et al., 2005, 2002)也进行了考察,发现相对于没有成功解决的被试而言,成功解决的被试诱发了更大的ERP成分(如:N1、P3a、P3b以及slow positive wave)。Kounios等(2008)采用变位字谜(4-5颠倒顺序的字母来生成一个字)作为顿悟问题,发现右下额皮层和颞前区表现出来更大的 α 波、 β 波以及 γ 波与顿悟策略有关。

此外,在一系列以远距离联想任务为顿悟问题的研究中,研究者们采用EEG技术也对顿悟进行了较为深入的揭示。例如,在Jung-Beeman等(2004)的研究中,他们实际上是把EEG和fMRI相结合来对顿悟进行探讨,其中EEG分析显示在顿悟前的0.3秒于右半球前颞上回诱发出一个突然发生的高频 γ 波。随后,Kounios等(2006)进一步发现,较无顿悟情况,顿悟情况在额中区、颞区、躯体感觉区以及右下额皮层等表现出了更小的 α 波。Sandkühler和Bhattacharya(2008)深入考察了顿悟问题解决过程中四个特征的神经机制,即进入问题的僵局、重组问题、深入理解以及突然获得答案,结果表明重组情况下右颞区表现出了更大的 α 波,而右前额区表现出了更小的 α 波。 γ 波效应反映了选择性注意以及无意识获得解决方法的过程。

综上所述,由于顿悟活动本身的复杂性,采用不同的实验范式及创造性问题、使用不同的技术手段,顿悟的脑机制的研究结果就会出现很大的差异,有时会相互矛盾(Dietrich & Kanso, 2010)。

2 理论框架

根据认知心理学的观点(王甦,汪安圣,1992),问题解决就是利用各种算子(手段)来改变问题的初始状态,逐步达到目标状态。问题解决可以分为常规问题解决与创造性问题解决。常规问题解决中,个体可以通过回忆已有知识经验把问题由初始状态顺利转化为目标状态。然而,创造性问

题中,很难搜索到有效算子(手段)使初始状态成功地转化为目标状态。这样一来,个体在没有启发信息的提供下,很容易进入错误的问题空间,并可能产生定势,使问题解决百思不得其解。如果受到原型的启发,就可以运用原型中所包含的启发信息,使问题空间的搜索从算法式转变为高效率的启发式搜索,从而促进问题的快速解决。

许多创造发明者在面对百思不解的“科学难题”的时候,往往不经意间从一个表面上无关的事物中获得启发,获得灵感,而忽然间找到解决问题的新思路(顿悟)。灵感是如何闪现的,为什么创造发明者能够“独具慧眼”从表面上无关的事物中获得启发,一直是一个令人感兴趣的课题。根据对创造性思维所进行的深入研究和思考,张庆林等人基于科学界关于“原型启发”催化顿悟产生的普遍事例(王极盛,1981),提出了顿悟问题解决的“原型启发”理论(张庆林,邱江,曹贵康,2004)。该理论认为,在解决顿悟问题的过程中,如果能够在脑中激活恰当的原型及其所包含的“启发信息”,那么顿悟就能够发生。顿悟的“原型启发”包含两个加工阶段:第一阶段是“原型激活”,即想到对眼前问题有启发作用的某个已知事物(原型);第二阶段是原型中的“关键启发信息利用”,即想到原型中所隐含的某个关键信息(如原理、规则、方法等)对眼前问题的解决有启发作用(田燕,罗俊龙,李文福,邱江,张庆林,2011)。从中国的“鲁班从带锯齿边的茅草中得到启发而发明锯子”的传说,到“瓦特从沸腾的开水壶盖上受到启发而发明蒸汽机”的经典故事,都说明“原型启发”在顿悟中的重要地位。该理论自提出以后,先后得到一系列行为实验的初步检验(张庆林,邱江,2005;曹贵康,杨东,张庆林,2006;任国防,邱江,曹贵康,张庆林,2007;吴真真,邱江,张庆林,2008),并且原型启发的两个加工阶段“原型激活”和“关键启发信息利用”也被证明是存在的。

原型启发理论认为:(1)问题解决者之所以能够从表面上无关的原型事物中获得启发信息,是因为人脑具有一种“自动响应机制”,即,问题解决者在不经意间偶然遇到表面上无关的原型事物时,头脑中的“科学难题”会自动激活,因此很容易将原型事物中所包含的启发信息运用于“科学难题”解决(获得灵感),从而换用高效率的启发式搜索;(2)高创造性者之所以能够“独具慧眼”,

是因为他们在“大脑自动响应机制”上具有一定的优势。

“大脑自动响应机制”是如何实现的?其可能的工作原理是什么?原型启发理论假设,问题解决者在遇到表面上无关的原型事物的时候,之所以能够自动激活“科学难题”(参见下文‘3 研究构想’中所举实例),是由于问题解决者对原型的表征和对问题的表征两者之间包含了相同的语义:当问题解决者遇到表面上无关的原型事物时,如果对原型的表征建立了一个特定的“构造-功能”连结(如,虾壳的“环状连接”是“构造”,“既坚硬又可以弯曲”是“功能”),并且对科学问题的表征也已经建立了一个“构造?-功能目标”的表征(如,“宇航服如何构造”就是一个“构造?”表征,“既坚硬又可以弯曲”则是“功能目标”的表征),那么,二者在语义表征上存在的共同成分就会导致一种“自动响应”,类似于物理上的共振现象。也就是说,问题解决者在遇到表面上无关的原型事物的时候之所以能够自动激活“科学难题”,是因为问题解决者对原型表征中所包含的特定语义激活了“问题表征”中的共同语义成分,并因此激活了整个“问题表征”,因此可以在工作记忆中同时加工“原型”和“问题”,两者联系在一起的结果是问题解决者能够从原型的“构造”中获得启发信息而解决“问题”中的“构造?-功能目标”表征中的“构造”的缺失。

由于“原型”和“问题”之间具有共同的语义成分,这意味着在原型启发过程中两者之间有共同的脑细胞群激活,因此“原型”和“问题”之间在fMRI上应该记录到某个(或某些)脑区的激活强度有显著的相关。

高创造性者为什么能够更加“独具慧眼”?原型启发理论的假设是:第一,高创造性者对“科学难题”具有更高的“孜孜不倦”的追求,即具有更强的“蔡格尼克效应”。蔡格尼克效应表明,人们对于那些未能完成的任务的记忆有时会比对已完成任务的记忆更好(Zeigarnik, 1927)。而个体对问题的孜孜不倦的追求会导致对问题的感受性提高(激活的阈限降低),因此更容易在面对原型的时候激活“科学难题”。而这种感受性的高低与个体的“创造性人格特征”的高低有关。课题组已经发现,《威廉姆斯创造性倾向》量表的得分与原型启发测量分数显著相关(朱海雪等,刊印中)。第二,由

于高创造性者对“科学难题”的“孜孜不倦”的追求导致对问题表征的“兴奋性”的提高,并无意之中影响对表面上无关的原型事物的表征。例如,如果没有宇航服问题的“构造? -功能目标”的表征的“启动效应”,被试对虾子也不会形成“环状连接”与“既坚硬又可以弯曲”的连结(一种“构造-功能”式的表征)。课题组已经发现“先问题-后原型”的实验条件下原型启发的测试分数显著高于“先原型-后问题”的条件,出现了“位置效应”(朱海雪等,刊印中),并在进一步的 fMRI 研究中发现了问题表征对原型表征的“启动效应”的脑区(另文发表)。第三,从逻辑上讲,是原型表征影响问题表征,还是问题表征影响原型表征?其实两者之间不是单纯的因果关系,“大脑自动响应机制”是一种并行加工。高创造性者似乎更善于进行这种并行加工(或许在单纯的因果关系的推理方面,高创造性者与低创造性者并没有显著的差别),这一观点有待进一步检验。第四,高创造性者更善于洞察问题的关键所在,更善于将纷繁复杂的问题简约成“构造? -功能目标”的表征,并形成一个问题图式。正是由于“构造? -功能目标”表征的存在,高创造性者才更容易对原型的表征产生“启动效应”,也更容易在共同语义基础上形成“自动响应”。

3 研究构想

在以往创造性问题的研究中,如装缸问题、九点问题、火柴问题、蜡烛问题、双绳问题等都为数不多,并且这些问题的性质、特征、复杂程度等也都各不相同,不具备等值性。字谜、谜语、远距离联想以及变位字谜等作为实验材料虽然解决了数量问题从而能够进行脑机制研究,但归结到一点,这些材料都还停留在非科学问题(例如,知识贫乏问题)上,带有人工性问题的特点。利用这些问题虽然能在实验室的条件下对高级认知活动进行研究,也能对额外变量进行很好地控制,但其生态效度往往不高。作为与现实生活中密切相关的创造性思维的产生不能脱离对实际问题的研究。因此,在已有研究的基础上进一步探讨更为符合创造性思维产生过程的科学性实际问题的顿悟机制,成了一个很迫切、又很困难的任务。

实际上,朱丹等(2011)已经成功编制了《创造发明实验问题材料库》,而且该库经过了一系列

的参数测试(正确率、反应时、难度系数、启发量等)和多项认知实验的检验。例如,田燕等人(2011)考察了原型表征对科学问题解决过程中的启发效应的影响。

该库共筛选出 84 个测试题目,都是在各个学科领域内收集到的最新的创造发明的实例。这些问题都很难,难在人们容易从常规的知识出发产生思维障碍,但是一旦获得某种原型启发,灵感就会忽然降临。因此,这些问题都具备了顿悟问题的基本特征:第一,在没有原型启发的条件下这些题目都难以解决(容易产生问题表征的错误和思维定势的限制);第二,在获取原型启发之后一般都会“豁然开朗”,问题很快得到解决(思维定势被打破,形成恰当的问题表征并进入正确的问题空间,原型与问题之间的“新异联系”得以形成);第三,找到答案之后会产生恍然大悟的感觉和愉悦的情绪体验(“啊哈”体验)。

下面是 84 个测试题目的一个实例:

科学问题:中国神六航天飞船上天之前,科学家们被宇航服的设计难住了。宇航员出舱时候穿的宇航服,既要有一定的坚硬度能够承受气压,又要能够自由弯曲,便于宇航员出舱操作。怎样使宇航服既有硬度又能自由弯曲呢?

原型:煮熟的虾子,其身体部分的外壳,既坚硬又可以弯曲。

参考答案:将宇航服需要自由弯曲的部位做成虾子外壳的样子。

这 84 个测试问题,涉及生物、物理、化学等学科领域,每一个测试问题都“一对一”地配备一个“原型事件”(共 84 个不同的原型)。

此外,本研究还编制了 40 个常规性问题(用作实验中的基线条件),例如鲁班从带齿边的茅草中得到启发而发明锯子的经典例子。该类问题与新近创造发明问题最大的区别在于,这些例子是人们都知道的常识性例子,在没有原型启发的条件下可以通过已有的知识经验进行解决。

本项目将在已有研究的基础上,以顿悟的“原型启发”为理论框架,以《创造发明实验问题材料库》为实验材料,以 fMRI 和 ERP 作为记录手段,系统探讨创造发明问题解决中原型启发催化顿悟发生的认知和神经机制,例如,原型激活和启发信息利用的脑机制、问题意识下灵感捕捉的脑机制以及原型知识表征、动机与情绪状态、大脑工作状态等

因素对原型启发影响的脑机制。根据理论框架, 本项目拟解决以下几个关键的科学问题:

第一, 按照顿悟的原型启发理论, 原型激活是自动加工, 而原型中所包含的启发信息的利用过程是控制加工, 如何将这两者分离, 是一个难题。本项目分别采用“一对一”、“多对多”和“群对群”的“原型学习-问题测试”范式, 有效地对两种加工机制实行有效的分离。

第二, 如国内学者罗劲指出(罗劲, 张秀玲, 2006; 邱江, 张庆林, 2011), 顿悟问题本身的特殊性(顿悟发生的时间不可预期和复杂性)以及认知神经技术特殊要求(采用足够多的心理事件进行叠加)会导致个体可能在遇到问题的几分钟之内顿悟, 也可能在几个小时或几天后顿悟, 也可能在没有外来帮助的情况下永远也不会顿悟。基于这种情况, 我们主要探讨“原型启发”催化创造发明中顿悟这一重要思维方式。这样一来, 我们就可以通过提供原型(包含启发信息)帮助被试在实验要求的时间内采用启发式搜索从而很快产生顿悟, 使被试在实验中“数十次地”重演科学家发明过程中的顿悟思维, 并进行 fMRI 和 ERP 的数据采集和分析。

第三, 由于创造发明中的顿悟属于“知识丰富领域”的问题, 所以被试的“已有知识”这一无关变量成为实验控制的难题。本项目采用“原型知识学习”这一控制措施, 确保被试都具备创造发明中的顿悟问题解决所需要的启发性知识, 并具有同样的“新近性”和“预热程度”。同时, 即使“原型知识学习”条件相同, 不同的人在不同场合下, 导致的对原型知识的表征是不相同的, 这将导致原型启发的效果和机制各不相同, 本项目将原型表征设定为自变量, 加以有效操纵, 深入揭示“原型表征”如何影响原型启发的认知和神经机制。

第四, 由于创造发明中的顿悟, 往往是在“不经意”中发生的, 正如酝酿效应的许多行为研究所揭示的那样, 所以在脑成像的研究中难以真正捕捉这样的“不经意”记录机会(而且需要“数十次地”重复记录)。本项目将动机、情绪以及“大脑工作状态”等作为自变量加以操纵, 以揭示创造发明中顿悟发生的条件及其认知神经机制。

3.1 研究一: 创造发明中原型激活与启发信息利用的脑机制

如上所述, 以字谜为实验材料, 在顿悟的“原

型启发”的脑机制研究方面, 本项目组在“学习-测试”范式下取得了一系列成果(Qiu et al., 2010; Qiu et al., 2008b), 主要得到了以下研究结论: 原型启发促发顿悟主要涉及原型激活和关键启发信息提取, 在大脑激活上主要与楔前叶有关, 在 ERP 指标上主要与 P200-600 成分有关。研究一首先以《创造发明实验问题材料库》为实验材料, 分别采用“一对一”和“群对群”的“原型学习-问题测试”范式, 利用 fMRI 作为技术手段, 记录分析创造发明中顿悟的原型启发的大脑激活状态。“一对一”范式(一个原型配对一个测试问题), 具有“类比迁移”的特点, 被试可以直接对原型中的隐含的关键信息进行提取, 那么该范式下可以直接对“关键信息提取”的脑机制进行揭示。而“群对群”范式下, 如何从众多的原型中激活与之对应的信息涉及到的认知过程, 可能首先是某一原型的自动激活(原型激活), 进而才是对原型中启发信息的利用。这样一来, 通过比较“群对群”范式和“一对一”范式的脑机制的差别, 可以揭示“原型自动激活”的这一脑机制。此外, 采用“5 对 5”的“原型学习-问题测试”范式, 利用 ERP 作为技术手段, 进一步记录分析“原型激活”以及“启发信息利用”的脑内动态时程变化过程, 具体而言:

实验 1 采用“一对一”范式: 即先让被试学习一个原型(学习阶段), 然后再让被试解决与之对应的一个创造发明问题(测试阶段)。对正确解决创造发明问题和常规问题的思考过程的 fMRI 数据进行对比分析。

实验 2 采用“群对群”范式: 第一天被试在行为实验室里学习完 70 个原型材料(40 个创造发明的原型材料, 30 个常规问题的原型材料), 第二天被试进入磁共振实验室去解决随机呈现的创造发明问题与常规问题(测试阶段), 问题出现顺序随机化。

实验 3 采用“5 对 5”范式: 即先让被试学习 5 个原型(学习阶段), 测试阶段随机呈现与之对应的 5 个问题。对正确解决创造发明问题和常规问题的思考过程的 ERP 数据进行对比分析。可以在一定程度上揭示“原型激活”以及“启发信息利用”的 ERP 效应。

3.2 研究二: 创造发明中问题意识下灵感捕捉的脑机制

蔡格尼克效应反映了人们对未完成任务的注

意保持。创造发明中的顿悟往往是在对问题的孜孜不倦的追求中忽然出现的,灵感往往青睐那些有准备的头脑,所以当人们面临原型事件的时候,只有在头脑中存在一个问题(问题意识),才能够有效激活原型并解决问题。如上提到,唐晓晨等(2009)已经从蔡格尼克效应的角度对顿悟的神经机制进行了探讨,但关于这方面的研究还有待进一步深入。因此,研究二将操纵“问题意识”,以fMRI作为技术手段,探索“问题意识”下灵感捕捉的脑机制。具体为:

实验4 采用“群对群”范式:不同的是采用“先呈现问题-后呈现原型”的实验程序。第一天被试在行为实验室里试着解决40个创造发明问题(根据前期建库研究,我们预期在没有原型启发的条件下这些题目都很难以解决,这样就使被试产生了类似于“蔡格尼克效应”的“问题保持意识”),第二天被试在磁共振扫描仪里被随机呈现80个原型,其中40个原型对应于前一天没有解决出来的40个问题(预期很多会产生灵感捕捉),另外40个原型与之前的问题无关(预期较少会产生灵感捕捉,作为一种基线条件),被试的任务即当原型出现之后思考当前的原型信息可以用来帮助解决之前40个问题的哪一个。通过灵感捕捉条件与基线条件进行比较,可以探索“问题意识”下灵感捕捉的脑机制。

3.3 研究三:创造发明中原型表征对原型启发影响的脑机制

创造发明中的顿悟问题属于“知识丰富领域”问题,涉及到如何表征原型知识才有助于“原型激活”并将原型所包含的启发性知识运用到问题解决之中。田燕等(2011)以《创造发明实验问题材料库》为实验材料的研究发现,被试在学习原型的时候,呈现原型的方式不同(加入能够突出原型的科学原理的标识或突出原型形象的插图),结果表明标识和插图在问题解决上存在显著交互作用,反映出原型启发的思维过程是复杂的,表现出灵活性、经济性的特点。因此,研究三将以田燕等(2011)研究为基础,在原型学习阶段中对“原型表征”进行操纵,以fMRI作为技术手段,探测原型表征的差异对创造发明顿悟中原型启发效应影响的脑机制。具体为:

实验5 类似于实验4,采用“先呈现问题-后呈现原型”的“9对9”实验程序。不同之处在于,问

题和原型呈现阶段都进行扫描。本实验下,自变量为原型学习阶段呈现原型方式的不同(是否加入能够突出原型的科学原理的“标题”和是否加入能够突出原型形象的“插图”),统计分析“标题”和“插图”两个自变量在问题解决上的主效应和交互作用(行为指标)及其脑区激活上的主效应和交互作用(fMRI指标),以考察“原型的形象思维”和“科学原理的抽象概括”在原型启发中的不同作用机制。

实验6 采用与实验5基本相同的实验范式,不同之处是:原型学习阶段呈现原型方式(自变量)的处理改变为,“是否突出原型材料中体现科学原理的文字”(加黑处理)和“原型材料与创造发明问题材料两者之间是否有显著的共同文字”,结果的处理同样是统计分析两种处理条件下行为指标和fMRI指标上的主效应和交互作用,以考察问题与原型之间“文字上的表面相同”和“科学原理上的深层语义相同”在原型启发中的不同作用机制。

3.4 研究四:动机与情绪对创造发明中的原型启发效应的影响

由于灵感往往是在“不经意”中发生的,是在“散焦注意”(而不是集中注意)的情况下发生的,所以,过强的动机和过强烈的情绪状态,可能不利于顿悟的发生。李亚丹等(2012)以字谜为材料,采用“原型学习-问题测试”范式,考察不同竞争水平(高、中、低竞争强度和低竞争)情境下诱发的情绪效价(积极、中性和消极)对顿悟中的原型启发的影响,结果发现竞争水平以及诱发的情绪对字谜问题解决中的原型启发有显著影响,并且二者之间存在交互作用。以李亚丹等(2012)研究为基础,研究四将操纵动机和情绪,以fMRI作为技术手段,探测动机与情绪状态对创造发明中原型启发效应影响的认知与神经机制。

实验7 采用与实验5基本相同的实验范式,操纵动机的性质(内部动机与外部动机)和动机的强度,探测动机对创造发明中原型启发效应影响的认知与神经机制。拟采用不同强度的鼓励作为内部动机的激发手段,以不同额度的奖金的作为外部动机的激发手段。

实验8 采用与实验5基本相同的实验范式,操纵情绪的效价、唤醒度、强度,探测情绪对创造发明中原型启发效应影响的认知与神经机制。

拟使用经中科院心理所改编后的国际情绪图片系统,选取愉悦度、唤醒度、强度不同的图片作为情绪诱发材料。

3.5 研究五:大脑工作状态对创造发明中的原型启发效应的影响

动机与情绪的影响,或许是通过大脑工作状态的影响而间接发生作用的。研究五在研究四之外,将更直接研究大脑的工作状态对创造发明中原型启发的影响。操纵大脑工作状态(如,不同的疲劳状态、入静放松状态、催眠状态、饮酒的麻痹状态等),以 fMRI 作为技术手段,探讨大脑的不同状态对创造发明中原型启发效应影响的认知和神经机制。

采用与研究四基本一致的“群对群”范式,研究大脑不同工作状态对创造发明顿悟中原型启发影响的脑机制。例如:

实验9 通过对有午睡习惯的被试是否“剥夺午睡”的控制来操纵大脑的疲倦程度,以研究大脑疲倦程度对创造发明中原型启发效应影响的神经机制。

此外,在以上五个研究的基础上,本项目还将从“特殊脑损伤病人的验证研究”等角度展开进一步的深入探讨。

4 小结

现实生活中,人们通常是在对问题百思不得其解情况下遇到某一启发信息后产生对该问题的解决方法。因此,研究二和研究三下采用的“先呈现问题-后呈现原型”范式更符合创造性思维产生的过程(朱海雪,罗俊龙,杨春娟,邱江,张庆林,印刷中)。而研究一下,采用“一对一”和“群对群”的“原型学习-问题测试”范式,则是对以字谜为实验材料所揭示的楔前叶等脑区在原型启发过程扮演重要作用结果的验证。

基于本项目的理论框架和研究构想,研究二下的结果对于揭示问题表征与原型表征间的“自动响应机制”能提供重要的参考。研究三下,通过记录分析被试在问题表征阶段以及原型表征阶段的大脑激活模式,力图找到两段认知过程下是否有激活高度相关的脑区,为进一步揭示“自动响应机制”下产生共振现象提供依据。研究四和五能够为揭示创造发明中顿悟的“自动响应机制”发生的条件及其认知神经机制提供重要的信息。

总之,相信该项目的开展,能为揭示创造发明中顿悟发生的条件和机制创造条件,为理解人类的创造性思维的本质提供科学依据,为人的创造力的培养和开发提供借鉴和启发。

参考文献

- 曹贵康,杨东,张庆林.(2006).顿悟问题解决的原型事件激活:自动还是控制. *心理科学*, 29(5), 1123-1127.
- 李亚丹,马文娟,罗俊龙,张庆林.(2012).竞争与情绪对顿悟的原型启发效应的影响. *心理学报*, 44, 1-13.
- 罗劲.(2004).顿悟的大脑机制. *心理学报*, 36(2), 219-234.
- 罗劲,张秀玲.(2006).从困境到超越:顿悟的脑机制研究. *心理科学进展*, 14(4), 484-489.
- 邱江,罗跃嘉,吴真真,张庆林.(2006).再探猜谜作业中“顿悟”的ERP效应. *心理学报*, 38(4), 507-514.
- 邱江,张庆林.(2007).字谜解决中的“啊哈”效应:来自ERP研究的证据. *科学通报*, 52(22), 2625-2631.
- 邱江,张庆林.(2011).创新思维中原型激活诱发顿悟的认知神经机制. *心理科学进展*, 19(3), 312-317.
- 任国防,邱江,曹贵康,张庆林.(2007).顿悟:是进程监控还是表征转换. *心理科学*, 30(5), 1265-1268.
- 沈汪兵,刘昌,张小将,陈亚林.(2011).三字字谜顿悟的时间进程和半球效应:一项ERP研究. *心理学报*, 43(3), 229-240.
- 唐晓晨,庞娇艳,罗劲.(2009).顿悟中的蔡格尼克效应:左右脑在解题失败与提示信息加工时的活动差异. *科学通报*, 54(22), 3464-3474.
- 田燕,罗俊龙,李文福,邱江,张庆林.(2011).原型表征对创造性问题解决过程中的启发效应的影响. *心理学报*, 43(6), 619-628.
- 王极盛.(1981). *智力ABC*.北京:北京出版社.
- 王甦,汪安圣.(1992). *认知心理学*.北京:北京大学出版社.
- 吴真真,邱江,张庆林.(2008).顿悟的原型启发效应机制探索. *心理发展与教育*, 24(1), 31-35.
- 张庆林,邱江.(2005).顿悟与源事件中启发信息的激活. *心理科学*, 28(1), 6-9.
- 张庆林,邱江,曹贵康.(2004).顿悟认知机制的研究述评与理论构想. *心理科学*, 27(6), 1435-1437.
- 朱丹,罗俊龙,朱海雪,邱江,张庆林.(2011).科学发明创造思维过程中的原型启发效应. *西南大学学报*, 37(5), 144-149.
- 朱海雪,罗俊龙,杨春娟,邱江,张庆林.(印刷中).发明创造问题解决中的原型位置效应. *心理科学*.
- Aziz-Zadeh, L., Kaplan, J. T., & Iacoboni, M. (2009). "Aha!": The neural correlates of verbal insight solutions. *Human Brain Mapping*, 30(3), 908-916.
- Bechtereva, N. P., Korotkov, A. D., Pakhomov, S. V., Roudas, M. S., Starchenko, M. G., & Medvedev, S. V. (2004). PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *International Journal of Psychophysiology*, 53(1), 11-20.

- Bowden, E. M., & Jung-Beeman, M. (2007). Methods for investigating the neural components of insight. *Methods*, 42(1), 87–99.
- Bowden, E. M., Jung-Beeman, M., Fleck, J., & Kounios, J. (2005). New approaches to demystifying insight. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 322–328.
- Danko, S. G., Starchenko, M. G., & Bechtereva, N. P. (2003). EEG local and spatial synchronization during a test on the insight strategy of solving creative verbal tasks. *Human Physiology*, 29(4), 502–504.
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1011–1026.
- Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822–848.
- Jung-Beeman, M., Bowden, E. M., Haberman, J., Frymiare, J. L., Arambel-Liu, S., Greenblatt, R., et al. (2004). Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biology*, 2(4), 500–510.
- Kounios, J., Fleck, J. I., Green, D. L., Payne, L., Stevenson, J. L., Bowden, E. M., et al. (2008). The origins of insight in resting-state brain activity. *Neuropsychologia*, 46(1), 281–291.
- Kounios, J., Frymiare, J. L., Bowden, E. M., Fleck, J. I., Subramaniam, K., Parrish, T. B., et al. (2006). The prepared mind: Neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight. *Psychological Science*, 17(10), 882–890.
- Lang, S., Kanngieser, N., Jaśkowski, P., Haider, H., Rose, M., & Verleger, R. (2006). Precursors of insight in event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(12), 2152–2166.
- Lavric, A., Forstmeier, S., & Rippon, G. (2000). Differences in working memory involvement in analytical and creative tasks: An ERP study. *Neuroreport*, 11(8), 1613–1618.
- Luo, J., & Niki, K. (2003). The function of hippocampus in 'insight' of problem solving. *Hippocampus*, 13(3), 316–323.
- Luo, J., Niki, K., & Knoblich, G. (2006). Perceptual contributions to problem solving: Chunk decomposition of Chinese characters. *Brain Research Bulletin*, 70(4–6), 430–443.
- Luo, J., Niki, K., & Phillips, S. (2004). Neural correlates of the 'Aha!' reaction. *Neuroreport*, 15(13), 2013–2017.
- Luo, J. L., Li, W. F., Fink, A., Jia, L., Xiao, X., Qiu, J., et al. (2011). The time course of breaking mental sets and forming novel associations in insight-like problem solving: An ERP investigation. *Experimental Brain Research*, 212(4), 583–591.
- Mai, X. Q., Luo, J., Wu, J. H., & Luo, Y. J. (2004). 'Aha!' effects in guessing riddle task: An event-related potential study. *Human Brain Mapping*, 22(4), 261–270.
- Qiu, J., Li, H., Jou, J., Liu, J., Luo, Y. J., Feng, T. Y., et al. (2010). Neural correlates of the "Aha" experiences: Evidence from an fMRI study of insight problem solving. *Cortex*, 46(3), 397–403.
- Qiu, J., Li, H., Jou, J., Wu, Z. Z., & Zhang, Q. L. (2008a). Spatiotemporal cortical activation underlies mental preparation for successful riddle solving: An event-related potential study. *Experimental Brain Research*, 186(4), 629–634.
- Qiu, J., Li, H., Yang, D., Luo, Y. J., Li, Y., Wu, Z. Z., et al. (2008b). The neural basis of insight problem solving: An event-related potential study. *Brain and Cognition*, 68(1), 100–106.
- Rose, M., Haider, H., & Büchel, C. (2005). Unconscious detection of implicit expectancies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 918–927.
- Rose, M., Haider, H., Weiller, C., & Büchel, C. (2002). The role of medial temporal lobe structures in implicit learning: An event-related fMRI study. *Neuron*, 36(6), 1221–1231.
- Sandkühler, S., & Bhattacharya, J. (2008). Deconstructing insight: EEG correlates of insightful problem solving. *PLoS One*, 3(1), e1459.
- Starchenko, M. G., Bekhtereva, N. P., Pakhomov, S. V., & Medvedev, S. V. (2003). Study of the brain organization of creative thinking. *Human Physiology*, 29(5), 652–653.
- Tian, F., Tu, S., Qiu, J., Lv, J. Y., Wei, D. T., Su, Y. H., et al. (2011). Neural correlates of mental preparation for successful insight problem solving. *Behavioural Brain Research*, 216(2), 626–630.
- Wang, T., Zhang, Q. L., Li, H., Qiu, J., Tu, S., & Yu, C. Y. (2009). The time course of Chinese riddles solving: Evidence from an ERP study. *Behavioural Brain Research*, 199(2), 278–282.
- Zhang, M., Tian, F., Wu, X., Liao, S., & Qiu, J. (2011). The neural correlates of insight in Chinese verbal problems: An event related-potential study. *Brain Research Bulletin*, 84(3), 210–214.
- Zeigarnik, B. (1927). Über das Behalten von erledigten und unerledigten Handlungen. *Psychologische Forschung*, 9(1), 1–85.

The Brain Mechanism of Insight Induced by Heuristic Prototype in Invention

LUO Jun-Long; QIN Yi-Gui; LI Wen-Fu; Zhu Hai-Xue; TIAN Yan; QIU Jiang;
ZHANG Qing-Lin

*(School of Psychology, Southwest University; Key laboratory of Cognition and Personality (SWU), Ministry of Education,
Chongqing 400715, China)*

Abstract: Numerous cases have shown that insight appears to occur when inventions were induced by heuristic prototypes in the scientific community. From the Chinese legend of Luban invented the saw which drew inspiration from acrodont couch grass to the classical story of Watt invented the steam engine inspired by looking at a pot of boiling water, too many such cases suggested that ‘prototype heuristics’ might be an important way of thinking in inventions. However, the neural basis of creative thinking is still stuck in researches of solving unscientific problems due to the complexity of the processing of the scientific innovation. Based on the latest scientific inventions in which scientists drew inspiration from heuristic prototypes, our group of this project has compiled the material database of creative problem for experiments. Using functional magnetic resonance imaging (fMRI) and event-related potential (ERP), the present project aims to explore the cognitive neural mechanisms of insight induced by heuristic prototype in invention. Specifically, we plan to investigate the cognitive neural basis of influences on heuristic prototypes, such as activation of prototype, application of heuristic information, catching inspiration under the problematic consciousness, prototype representation, motivation and emotional state, working situation of brain etc. So it has important theory significance to understand the essence of human creative thinking as well as practical significance to stimulate and nurture human creativity to carry out this project.

Key words: invention; insight; prototype heuristics; brain mechanism