

# 创造力的神经机制及其教育隐意\*

郝宁

**摘要** 近十几年来,创造力的神经科学研究取得了巨大进展。研究者使用 EEG(脑电)、fMRI(功能核磁共振)、PET(正电子发射断层扫描)、NIRS(近红外光谱扫描)等多种技术手段,对发散性思维、顿悟、艺术创造、创编故事等创造活动背后的神经机制,对高创造力大脑与低创造力大脑间的差异,对创造性思维干预措施发挥作用的神经机制等,进行了广泛而深入的探讨。这些研究不仅推进了我们对大脑功能的认识,也对教育实践具有重要启发意义。

**关键词** 创造力; 发散性思维; 顿悟; 艺术创造; 教育神经科学

**作者简介** 郝宁/华东师范大学心理与认知科学学院副教授 (上海 200062)

## 一、引言

创造是人类文明的基石。从人类发展的角度来说,人类社会的进步史就是不断进行创造的历史。所有人类的革新,均依赖于改变既有的思维模式,打破现有的存在,构建出新颖的思想和产品。这就是人类的创造力(creativity)。创造力可被视为人类具有的优良属性,它在科学、教育、经济、工业、生活等领域发挥着重要作用。虽然研究者对如何界定创造力依然存在争议,但近来还是逐渐达成一致:创造力可被视为人类的一种心理能力,其产出既新颖又适用的思维产品。<sup>[1]</sup>

过去数十年间,心理学对创造力的研究主要遵循以下三种取向:(1) 个性特质的研究取向,试图识别出创造性个体具有的特质群。这些研究认为,更好奇、更灵活、更独立、更开放、更具冒险精神的人更有创造力。<sup>[2]</sup> (2) 认知心理学的研究取向,试图识别出某些导致新异、有效问题解决方案的认知加工活动,<sup>[3]</sup> 以及分析知识在创造力中的作用。<sup>[4]</sup> (3) 社会心理学的研究取向,试图识别出特殊的社会环境因素对创造力的积极或消极影响。这些研究推进了我们对创造力是什么及从何而来这两个基本问题的理解。

最近十几年,随着认知神经科学的兴起,研究者开始将目光投向探讨创造力的神经机制问题。既然创造力是人类心理能力中如此重要的一部分,研究者自然很好奇,创造力背后的神经机制是怎样的? 人类的创造性观念,是从大脑的哪

\* 本研究得到国家自然科学基金青年项目(项目编号:31100741)和上海市哲学社会科学规划教育学专项课题(项目编号:2012JJY002)的支持。

个部分生成的? 又是如何生成的? 应感谢技术的进步(当然这亦是人类创造力的成果) 我们有了无创性洞察大脑活动的技术手段,如 EEG(脑电)、fMRI(功能核磁共振)、PET(正电子发射断层扫描)、NIRS(近红外光谱扫描)等,这些手段使研究者可以记录和分析个体进行创造时大脑内部的活动情况。在这一研究领域,研究者已获得了许多有趣的发现,部分揭示了创造力的神经机制。以下我们将回顾这些有趣的研究,指出其目前存在的问题,并探讨这些研究的教育隐意。

## 二、创造力神经机制研究的主要发现

研究者使用 EEG、fMRI、PET、NIRS 等技术手段,探讨了发散性思维、顿悟、艺术创造、创编故事等活动的神经机制;比较了高创造力大脑与低创造力大脑间的差异;分析了创造性思维干预措施得以发挥作用的神经机制等。以下简要介绍。

### (一) 发散性思维的神经机制

传统观点认为,创造力的核心成分是发散性思维,即生成对某一问题各种各样的新颖的观念或解答。神经科学研究常采用非常规用途测验任务(AUT)来研究发散性思维的神经机制。AUT 要求被试想出某些日常用品的新颖且有适用性的用途,如“信用卡”可用来当直尺、刀片、钥匙、垫片等。此外,组词任务,如给予“KM”两个字母,要求被试编出各种合理的词组(如 kissing manual),及其他一些发散性任务也被使用。这些研究主要探讨了发散性思维四方面的问题。第一,左右脑的优势效应。EEG 研究最普遍的发现是,进行发散性思维时并非右脑占据优势,而是左右脑均发挥作用。<sup>[5-10]</sup> fMRI 和 PET 的研究也支持这一结论,除了两项研究提示右前额叶皮层的作用之外,<sup>[11-12]</sup> 其他研究没有支持右脑在完成发散性任务时的优势作用,<sup>[13-17]</sup> 甚至有研究表明左脑更为重要。<sup>[18]</sup> 第二,参与发散性思维的脑区。研究表明发散性思维并不是某一特定脑区的功能,前额叶、<sup>[19-23]</sup> 顶叶、<sup>[24-27]</sup> 颞叶,<sup>[28-30]</sup> 均可能参与其中;而视觉皮层、<sup>[31-33]</sup> 丘脑、<sup>[34-35]</sup> 海马、<sup>[36]</sup> 前扣带回、<sup>[37-38]</sup> 小脑、<sup>[39-40]</sup> 胼胝体<sup>[41-42]</sup> 也可能参与发散性思维。这些研究中有两个结果值得关注:其一,许多脑区参与发散性思维,这说明发散性思维极其复杂;其二,除前额叶参与发散性思维得到研究的一致证实外,其他脑区是否参与,各研究没有彼此印证。原因可能在于,这些研究使用了不同的发散性思维任务,任务的差异导致了激活脑区的差异。第三,脑的活动状态。EEG 研究发现,发散性思维中, alpha 波的 ERS(相对与基线水平 alpha 波能量的增强)在许多脑区出现,如前额叶、顶叶、颞叶、枕叶等。<sup>[43-46]</sup> 在早先研究中, alpha 波的 ERS 被认为反映了相关脑区的低唤醒(low arousal)状态。<sup>[47]</sup> 通俗来讲,这种观点下,执行发散性思维需要大脑处于注意涣散或低激活的状态。但最近的研究表明, alpha 的 ERS 与激活性认知加工活动有关,反映了相应脑区正在执行自上而下的抑制性控制。<sup>[48-50]</sup> 这种观点下,执行发散性思维需要大脑处于自上而下抑制性控制状态,排除其他无关认知活动的干扰。目前看来,后一种解释更为合理,因为一项 EEG 和 fMRI 联用的研究表明,前额叶出现 ERS 伴随

着前额叶的激活而非去激活。<sup>[51]</sup> 第四,前额叶的作用。前额叶参与发散性思维获得一致的证实,但前额叶的哪些区域参与其中却依然不甚清楚。有研究揭示了前额叶的弥散性激活模式,<sup>[52-54]</sup>也有研究表明某些具体区域发挥着作用。例如,腹外侧前额叶的右侧激活<sup>[55]</sup>或左侧激活;<sup>[56]</sup>额回和额极的左侧去激活,<sup>[57-59]</sup>右前运动区、<sup>[60]</sup>左前扣带回、<sup>[61-62]</sup>左背外侧前额叶皮层和左辅助运动区的激活<sup>[63]</sup>等。虽然有这样一些发现,但研究者只是观察到了前额叶某些脑区的“激活”或“去激活”,这些脑区在发散性思维的观念生成中到底发挥什么作用却不清楚。

## (二) 顿悟的神经机制

创造通常伴随有顿悟(insight)体验。有研究者认为,创造就是一种以相当突然又不可预知的方式,突破思维僵局和重构问题表征,最终获得问题解决方案的顿悟过程。他们常采用字谜任务、RAT任务(呈现三个字,如“留、保、款”,想出另一个字可以和这三个字均建立语义关系,如“存”)和“原型-启发范式”(一种人为激发顿悟体验的方式)来研究顿悟的神经机制问题。这些研究探讨了以下问题。第一,左右脑的优势效应。因为右颞上回(STG)负责非精确性语义编码,而非精确性语义编码有利于远距离观念的整合,<sup>[64]</sup>所以研究者假设右脑在顿悟中具有优势效应。许多研究表明右脑在顿悟中具有优势,<sup>[65-70]</sup>但也有研究发现左右脑在顿悟中效应相当,<sup>[71-74]</sup>甚至有研究表明左脑在顿悟中更有优势。<sup>[75-77]</sup>这种矛盾的结果可能是由使用不同任务所导致的,用RAT任务的研究通常发现右脑优势效应,而用字谜任务的研究通常发现左脑优势效应。<sup>[78]</sup>原因可能在于,实验任务产生过大的工作记忆负荷(字谜谜面通常3-14个字,这比RAT的三个字造成的工作记忆负荷更大),导致左半球的激活明显加强。第二,顿悟闪现(flash of insight)。顿悟答案的出现是霎那间完成的,所以研究者用ERP这种具有极高时间敏感性的方法来研究这种现象。研究发现,“有顿悟”反应比“无顿悟”反应的ERP波形在250~500ms内有一个更加负性的偏移。这个差异波的潜伏期约为380ms(N380),溯源显示其主要源自前扣带回。<sup>[79-80]</sup>研究者认为N380与认知冲突有关。另有研究发现,“有顿悟”和“不理解”较之“无顿悟”的ERP波形均存在一个更加负性的偏移,且这两个负成分的潜伏期均在320ms左右(N320),溯源分析显示N320同样起源于前扣带回。<sup>[81-83]</sup>研究者认为N320主要与提供答案瞬间新旧思路之间的认知冲突有关。第三,参与顿悟的脑区。前扣带回的作用不仅有上述ERP研究的证实,也有fMRI和PET研究的支持;<sup>[84]</sup>前额叶的许多区域,如左外侧区、<sup>[85]</sup>右腹区<sup>[86-87]</sup>也被认为与顿悟有关;颞顶脑区,尤其是颞上回在顿悟中非常重要,研究者甚至认为该区域比前额叶更为重要;<sup>[88-89]</sup>此外,视觉皮层<sup>[90]</sup>和海马<sup>[91]</sup>也可能参与顿悟过程。

## (三) 艺术创造的神经机制

研究者常采用在脑海中作曲、作画或编舞、在脑海中将抽象概念视觉化、观看一副绘画等方法来研究音乐、绘画、舞蹈领域创造活动的神经机制。这些任务与发散性思维或顿悟任务差异很大,因此涉及的神经机制也有很大不同。第一,对于知觉性任务(如观看绘画)来说,与普通人相比,艺术家在前额叶和大脑后

部表现出更强的 alpha 波的 ERD,<sup>[92]</sup>这与发散性思维伴随前额叶和后部脑区的 alpha 波的 ERS 正好相反,可能代表激活性抑制的消退。艺术家表现出更强的 beta 和 gamma 波的 ERS,研究者认为这代表着整合能力(binding ability)的不断增强。第二,对于心理想象任务来说,研究发现在脑海中绘画时,伴有前额叶和后部脑区的 alpha 波的 ERD;<sup>[93-94]</sup>但在脑海中编舞时,却伴有 alpha 波的 ERS。<sup>[95]</sup>这种不一致的结果目前很难解释。研究还发现,在完成心理想象任务时,伴有 delta 波的 ERS,<sup>[96-97]</sup>这反映了视觉记忆的参与和广泛的自上而下的加工。第三,左右脑的优势效应。与发散性思维与顿悟研究的结论一致,无论 EEG 研究<sup>[98-99]</sup>还是 fMRI 研究<sup>[100-104]</sup>均未发现在艺术创造中右脑占优势。这是对以往认为右脑负责艺术创作观点的有力反驳。第四,艺术创造涉及的脑区。前额叶参与艺术创造获得较一致地证实,比如运动前区和运动皮层、额回、额叶岛盖、前扣带回等。<sup>[105-108]</sup>此外,顶枕区、<sup>[109-111]</sup>梭状回、<sup>[112-113]</sup>视觉皮层、<sup>[114-115]</sup>丘脑、<sup>[116]</sup>基底神经节、<sup>[117]</sup>海马、<sup>[118-119]</sup>小脑、<sup>[120-121]</sup>中脑和桥脑,<sup>[122]</sup>也被报告参与艺术创造活动。

#### (四) 创编故事的神经机制

创编故事是一种特殊的创造力任务,不同与发散性思维和顿悟,也不同于绘画、编舞、作曲等典型艺术领域的任务。它是一种言语创造力任务,有很好的生态效度。但因为它耗时长、很困难,且行为指标难以在神经科学实验条件下记录,所以很少被神经科学研究选作实验任务。Howard - Jones 等的研究很经典,<sup>[123]</sup>研究者给予被试 3 个词,要求被试根据这三个词在 22 秒内创编一个故事。该研究使用 2×2 实验设计(要求被试编一个“有创造性的”或“没创造性”的故事;给被试 3 个无关词,如“跳蚤、唱歌、剑”,或 3 个相关的词,如“魔术师、小把戏、兔子”),让其在上述四种条件下完成该任务,用 fMRI 记录完成任务时的脑活动。通过比较编“有创造性”和“无创造性”故事时大脑活动的差异,发现前者伴有前额叶活动的增强,包括双侧内侧额回和左前扣带回;通过比较根据有关或无关词编故事时大脑活动的差异,发现前者伴有更强的双侧前扣带回和右内侧额回的激活。这一研究揭示了创编故事所涉及的脑区及其可能的作用。但我们也发现,这些脑区并非是创编故事所特有的脑区,比如说前扣带回,它在发散性思维、顿悟、艺术创造中均非常重要。

#### (五) 创造性思维干预措施的神经机制

干预性措施可以提升个体创造性解决问题的效率,比如诱发积极情绪、<sup>[124]</sup>原型启发、<sup>[125]</sup>指导使用更抽象的观念生成策略、<sup>[126]</sup>头脑风暴等。<sup>[127]</sup>最近,研究者开始关注这些干预措施促进创造性问题解决的神经机制。Subramaniam 等分析了积极情绪对创造性思维作用的神经机制。<sup>[128]</sup>行为结果发现,积极情绪使被试完成了更多 RAT 任务。fMRI 结果显示,前扣带回对于情绪和 RAT 任务均非常敏感,积极情绪能够改变前扣带回的准备状态,使个体能更有效执行认知监控,处理不同观点间的认知冲突。这一结果说明,积极情绪可以通过影响前扣带来调节注意和认知控制机制,从而利于创造性任务的解决。2010 年 Fink 等的研究可以视为探讨了“头脑风暴”对创造性思维影响的神经机制。<sup>[129]</sup>他们要求

被试在三种条件下完成 AUT 任务: 直接想出并报告新颖用途、反思自己最初的想法再想出新颖用途、先看其他人报告的用途再想出新颖用途( 这即是“头脑风暴”的本质)。行为结果显示, 第三种做法使被试生成了更有创造性的观点。fMRI 结果显示, 此做法使右颞顶区、内侧颞叶、双侧后扣带的激活得以增强。研究者认为, 这些脑区参与语义整合、记忆提取和注意加工, 所以头脑风暴法可以调节自下而上的注意, 从而使个体生成更有创造性的观念。

#### (六) 高创造力大脑与低创造力大脑的差异

研究者一直试图找出高创造力者和低创造力者间的差异, 如个性、动机、目标导向、认知能力等维度的差异等。对于神经科学家来说, 如果能找到两者大脑活动的不同, 将为理解创造力的个体差异提供最直接的证据。早在 1975 年, Martindale 和 Hines 便发现, 高创造力者比低创造力者在完成 AUT 和 RAT 任务时伴随着更强的 alpha 波的 ERS。<sup>[130]</sup> 基于 alpha 波 ERS 的激活性抑制理论, 该结果可表明, 高创造力者在完成创造性任务时能够更高效执行自上而下的控制, 排除无关认知活动的干扰。Bhattacharya 和 Petsche 比较了职业画家和普通人在头脑中作画时的脑活动差异, 发现职业画家表现出更强的 delta 波的短距离与长距离的 ERS, 而普通人仅在额叶表现出 beta 和 gamma 波的短距离的 ERS, 这说明职业画家在进行绘画创作时有更多脑区在共同合作。<sup>[131]</sup> Chavez - Eakle 利用 TTCT 测验将被试分为高创造力组和低创造力组, 要求两组被试完成 AU 任务。<sup>[132]</sup> 结果发现, 言语创造力高的被试在右侧中央前回表现出更强激活; 而形象创造力高的被试在右侧中央后回、左侧额中回、右侧直回、右侧顶下小叶、右侧海马旁回表现出更强激活。Chavez - Eakle 指出, 尽管大多数激活是在右脑, 但高创造力者完成创造性任务时表现出“双侧分布的大脑活动模式”。Fink 等要求职业舞者和业余舞者完成三项任务( 头脑中编新颖的舞蹈、头脑中模拟标准华尔兹、AUT 任务), 分析两者的脑电差异。<sup>[133]</sup> 结果发现, 职业舞者在完成 AUT 任务时表现出更强的双侧后顶叶区的 alpha 波 ERS, 在完成“编新颖舞蹈”任务中表现出更强的双侧枕叶和右脑的 alpha 波 ERS, 但在完成“模拟标准华尔兹”任务中与业余舞者无差异。Berkowitz 和 Ansari 让音乐家和非音乐家在头脑中编曲, EEG 结果发现两者最关键的差异在于, 音乐家在右颞颥连接处( rTPJ) 有更强的去激活。<sup>[134]</sup> 因为 rTPJ 参与自下而上的由刺激驱动的加工, 所以该结果说明音乐家在编曲时能够抑制与任务无关的刺激, 保持目标导向的、自上而下的加工。综合上述研究, 没有一致性证据表明高创造力者的右脑激活要更强一些, 这些结果并不能得出创造力就“植根于”右脑, 或高创造力者的右脑更加“高效”。<sup>[135 - 136]</sup>

### 三、创造力神经机制研究存在的问题

创造力的神经科学研究正在茁壮成长, 在已发表的研究报告中, 我们看到了各种各样色彩斑斓的脑地形图, 告诉我们与“创造力”有关的脑区在哪里, 以及它们是怎样活动的。但很遗憾, 在目前的研究中, 不一致的结论远多于一致的结

论,未解决的问题远多于已解决的问题。创造力的神经科学研究还有很长的路要走。

首先,什么是创造力?应该采用何种操作性的任务来评估创造力?从上文可知,人们完成不同的创造力任务(发散性任务、顿悟、艺术创造、创编故事)所利用的脑区以及大脑活动状态有很大差异,如完成发散性思维伴随前额叶 alpha 波的 ERS,完成艺术创造伴随前额叶 alpha 波的 ERD。完成同一类问题不同任务时大脑的活动也不一样,如顿悟问题,完成 RAT 时右脑占优势,完成字谜任务时左脑占优势。甚至完成同一种任务,稍稍改变任务的特征,也会造成大脑活动的差异,如 10 字谜面的字谜要比 3 字谜面的字谜诱发更强的左脑激活。这种现象提示了两个值得思考的问题:其一,对于行为研究者来说,这些不同的创造力任务涉及的大脑活动差异如此巨大,几乎难以找到一致性规律,那么它们测的还是“创造力”这一共同对象吗?或者,创造力本就应该分成多种子类?其二,对于神经科学研究者来说,使用不同的任务或稍微改变任务的特征便会造成大脑活动的巨大差异,那么怎能指望通过某种任务使个体表现出创造力,从而洞察创造力背后的神经机制呢?

其次,数据分析方法导致结果未必可信。无论用 EEG、fMRI 或 PET 来记录大脑的活动,数据分析均是多个 trial 平均,然后进行“配对成像相减”得出差异,这种方法得出的结果很有误导性。<sup>[137]</sup>以 Fink 等的研究<sup>[138]</sup>为例,他们让被试完成四种任务:非常规用途任务(AUT)、罗列物体特征(OC)、组词(NI)、回忆具有相同词根的词(WE)。结果发现,这四种任务所引发的大脑激活模式(相比于基线状态)极为相似,均表现出左脑的广泛激活和右后脑区的广泛激活。这些结果很明显指示了左脑的优势效应。但如果把完成 AUT 和 OC 任务的大脑激活相减,则会发现两者最大的区别在于,完成 AUT 任务伴随着右角回的去激活。这一结果会直接误导人们认为右脑在 AUT 任务中更重要,而实际上在完成 AUT 任务时左脑参与的脑区远多于右脑。这种相减法只能表明某种任务相对于另一种任务更多在哪个(些)脑区表现出激活或去激活,不能据此得出结论说完成这种任务就“植根于”或“处于”这个(些)脑区。由此可见,早先有研究得出创造力是右脑功能这一论断非常值得怀疑。

第三,技术手段的限制使研究缺乏生态效度。情境认知和具身认知的研究表明,身体的放松姿态、自由流畅的手部活动、外部空间的自由等,均对创造力有着显著影响。<sup>[139-140]</sup>那么,一个人或带着电极帽,或躺在 fMRI 设备里,因被告知一丝细微动作就会污染数据从而竭力保持静止不动,完成枯燥无味的一次次试验,他能在多大程度上真正从事创造?此外,现实生活中真正的创造是一个长期复杂的过程。比如写一部小说可能费时数年,作者要积累素材、构思结构、撰写文本、与他人交流、反复斟酌修改等。此过程如此复杂,完全不可能通过神经科学的实验来考察。所以,目前的研究把真实复杂的创造活动还原成某种简单的任务,这类研究是缺乏生态效度的。

#### 四、创造力神经机制研究的教育意义

但我们必须看到,从 Wallas 在 1926 年提出创造性问题解决的四阶段理论,到现在已揭示出创造力可能的神经机制,人类对创造力的科学研究取得了巨大的成就。创造是人类得以进步的重要推动力,培养具有创造力的人是教育的核心目标之一。虽然这些业已取得的发现未必洞察到彼岸的真理,但对现实的教育是有一些启发意义的。

首先,创造是人类高级的、复杂的心理活动,对创造过程神经机制的探讨,是一个很好的切入点或载体,使人类理解自己的大脑是如何工作的。这种对未知事物的探索,不仅是科学研究的真谛,其本身也蕴含着实用的价值。就如同搞清楚汽车发动机的结构、功能、运行原理后能够帮助我们诊断发动机的问题、对其改进、提升功能一样,对大脑如何工作的理解也将帮助我们诊断大脑(以及与其相关的心理和行为)的问题、提升其功能。从这个角度来讲,创造力的神经机制研究和其他各分支主题的神经科学研究一样,承载着理解大脑继而优化大脑的功能。

第二,再具体点,对创造力神经机制的理解,是否可以帮助学校教师制定某些教育策略或干预措施来提升学生的创造力呢?这看起来是可能的。举个例子,在上文中我们看到,前扣带回在多种创造性任务中发挥着重要作用。研究表明诱发积极情绪,可改变前扣带回的准备状态,通过影响前扣带回调节注意和认知控制机制,从而利于创造性任务的解决。这启发我们认识到,可否设计更多样的教育干预措施来影响前扣带回,使学生能更有效地执行认知监控,处理不同观点间的认知冲突,进而提升创造力呢?若这种构想被证实是有效的,则可推广至通过教育干预改变其他一些脑区的功能,进而提升创造力。这无疑具有很强的教育实践价值。

第三,科技的发展使人类有了一些改变大脑神经生物基础的技术,如药物、基因工程、可置入大脑的电极,以及通过外科手术进行脑内的组织移植等。这些技术可否用在教育中以改进学生的创造力呢?例如,如前文所述,远距离观念的联想是创造的重要机制,有研究表明帕金森症患者的远距离观念联想能力有很大缺陷,<sup>[141]</sup>而多巴胺可以作为语义网络中激活扩散的神经调质,所以服用多巴胺类药物可以显著改善帕金森症患者的远距离观念联想能力。<sup>[142]</sup>那么,多巴胺类药物是否可用在正常学生身上,用以增强其远距离观念联想能力,继而改善其创造力呢?这在理论上讲是可能的,当然这样做也有未知的副作用以及伦理道德问题。

第四,如果彻底理解了创造力的神经机制,那么我们可否对表现出低创造力的学生进行诊断,找到他是因哪些脑区的功能不足导致了低创造力,继而采取有效措施(教育干预或者药物)来改善其创造力?我们可否通过神经科学的技术手段,确定学生大脑活动的个体差异,区分适合从事不同创造性活动的个体,进而采取更有效的个别化教学?这些都是创造力神经机制研究对教育的可能价值所在。

第五,目前已有的研究结果对教育最直接的启示是,消除了“创造力在右脑”这一神经神话。教育界和普通大众中一直流传着这样一种观点:左脑是理性思维、分析思维和言语所在;右脑是直觉思维、综合思维和创造力所在。事实上,大脑确实是由两个半球组成,但它们不是分开来发挥作用的,也不是分开的两个实体。已有的创造力神经机制的研究,没有得出右脑优势效应的一致性结论,绝大多数研究均发现左脑的许多脑区在创造性思维中发挥重要作用,创造是左右脑共同完成的。因此,所谓通过“右脑开发”来培养孩子创造力的口号或者做法,可以休矣。

创造力的神经科学研究为教育提供了一些启示。但必须指出,“基于脑的教育”这种观点是偏颇的。我们不能把人等同于脑,或者人类的本性就容纳于其脑中,而把人的身体、环境、关系、文化看作是次要的。<sup>[143]</sup>当我们谈论创造力时,不能简单认为它就是发生在脑中的,而将身体以及人所处的环境的影响及其所提供的信息排除在外。具身认知和情境认知的研究已提供坚实的证据表明,身体动作或情境因素在创造活动中发挥着重要作用。更重要的一点是,即便我们找到高创造力大脑和低创造力大脑的差异,又怎能说这种差异不是来自于环境的影响,来自于长期的教育和训练的作用?要知道,大脑受环境、经验和教育的影响而不断发生变化正是大脑可塑性的核心内涵之一。

---

#### 参考文献:

- [1] Sternberg, R. J. and T. I. Lubart, Investing in creativity. *American Psychologist*, 1996, 51(7): 677 - 688.
- [2] [135] Feist, G. J., The function of personality in creativity: The nature and nurture of the creative personality, in *The Cambridge handbook of creativity*. ,J. C. Kaufman and R. J. Sternberg, Editors. Cambridge University Press: New York, NY US. 2010: 113 - 130.
- [3] Allen, A. P. and K. E. Thomas, A dual process account of creative thinking. *Creativity Research Journal*, 2011, 23(2): 109 - 118.
- [4] Ward, T. B., The role of domain knowledge in creative generation. *Learning and Individual Differences*, 2008, 18(4): 363 - 366.
- [5] Bazanova, O. M. and L. I. Aftanas, Individual measures of electroencephalogram alpha activity and non-verbal creativity. *Neurosci Behav Physiol*, 2008, 38(3): 227 - 235.
- [6] Danko, S. G., et al., Comparison of the effects of the subjective complexity and creativity of verbal activity on the EEG power spectral parameters. *Fiziol Cheloveka*, 2009, 35(3): 132 - 134.
- [7] Jin, S. - H., et al., Differences in brain information transmission between gifted and normal children during scientific hypothesis generation. *Brain Cogn*, 2006, 62(3): 191 - 197.
- [8] [43] Fink, A. and A. C. Neubauer, EEG alpha oscillations during the performance of verbal creativity tasks: Differential effects of sex and verbal intelligence. *International Journal of Psychophysiology*, 2006, 62(1): 46 - 53.
- [9] [44] Razumnikova, O. M., Gender differences in hemispheric organization during divergent thinking: an EEG investigation in human subjects. *Neuroscience Letters*, 2004, 362(3): 193 - 195.
- [10] Razumnikova, O. M., N. Volf, and I. V. Tarasova, Strategy and results: Sex differences in electrographic correlates of verbal and figural creativity. *Human Physiology*, 2009, 35: 285 - 294.
- [11] [19] [52] Folley, B. S. and S. Park, Verbal creativity and schizotypal personality in relation to prefrontal



- hemispheric laterality: A behavioral and near - infrared optical imaging study. *Schizophrenia Research* , 2005 ,80( 2 - 3) : 271 - 282.
- [12] [31] [37] [57] [61] [123] Howard - Jones , P. A. , et al. , Semantic divergence and creative story generation: an fMRI investigation. *Brain Res Cogn Brain Res* , 2005 ,25( 1) : 240 - 250.
- [13] [20] [24] [28] [39] [56] [58] [60] [132] Chávez - Eakle , R. A. , et al. , Cerebral blood flow associated with creative performance: A comparative study. *Neuroimage* , 2007 ,38( 3) : 519 - 528.
- [14] [21] [53] Gibson , C. , B. S. Folley , and S. Park , Enhanced divergent thinking and creativity in musicians: a behavioral and near - infrared spectroscopy study. *Brain Cogn* , 2009 ,69( 1) : 162 - 169.
- [15] [25] [29] [32] [34] [41] Jung , R. E. , et al. , Biochemical support for the " threshold " theory of creativity: a magnetic resonance spectroscopy study. *J Neurosci* , 2009 ,29( 16) : 5319 - 5325.
- [16] [42] Moore , D. W. , et al. , Hemispheric connectivity and the visual - spatial divergent - thinking component of creativity. *Brain Cogn* , 2009 ,70( 3) : 267 - 272.
- [17] [22] [26] [54] Sieb? rger , F. T. , E. C. Ferstl , and D. Y. von Cramon , Making sense of nonsense: An fMRI study of task induced inference processes during discourse comprehension. *Brain Res Cogn Brain Res* , 2007 ,1166: 77 - 91.
- [18] [23] [27] [30] [35] [36] [38] [40] [51] [62] [63] [95] [98] [138] Fink , A. , et al. , The creative brain: investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and FMRI. *Hum Brain Mapp* , 2009 ,30( 3) : 734 - 748.
- [33] [45] [133] Fink , A. , B. Graif , and A. C. Neubauer , Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *Neuroimage* , 2009 ,46( 3) : 854 - 862.
- [46] Grabner , R. H. , A. Fink , and A. C. Neubauer , Brain correlates of self - rated originality of ideas: Evidence from event - related power and phase - locking changes in the EEG. *Behavioral Neuroscience* , 2007 , 21( 1) : 224 - 230.
- [47] Pfurtscheller , G. , Quantification of ERD and ERS in the time domain , in *Event - Related Desynchronization. Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* , rev. edition. , G. Pfurtscheller and L. d. S. FH. , Editors. Amsterdam: Elsevier. 1999: 89 - 105.
- [48] Benedek , M. , et al. , EEG alpha synchronization is related to top - down processing in convergent and divergent thinking. *Neuropsychologia* , 2011 ,49( 12) : 3505 - 3511.
- [49] Handel , B. F. , T. Haarmeier , and O. Jensen , Alpha oscillations correlate with the successful inhibition of unattended stimuli. *J Cogn Neurosci* , 2011 ,23( 9) : 2494 - 2502.
- [50] Jensen , O. and A. Mazaheri , Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. *Front Hum Neurosci* , 2010 ,4: 186.
- [55] [59] Goel , V. and O. Vartanian , Dissociating the roles of right ventral lateral and dorsal lateral prefrontal cortex in generation and maintenance of hypotheses in set - shift problems. *Cereb Cortex* , 2005 ,15( 8) : 1170 - 1177.
- [64] [65] Jung - Beeman , M. , et al. , Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLOS Biol.* , 2004 ,2: 500 - 510.
- [66] [71] [88] Kounios , J. , et al. , The prepared mind: neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight. *Psychological Science* , 2006 ,17( 10) : 882 - 890.
- [67] [81] 邱江 , 罗跃嘉 , 吴真真 , 张庆林. 再探猜谜作业中"顿悟"的 ERP 效应[J]. *心理学报* , 2006 ,38( 4) : 507 - 514.
- [68] Sandkuhler , S. and J. Bhattacharya , Deconstructing insight: EEG correlates of insightful problem solving. *PLoS One* , 2008 ,3( 1) : e1459.
- [69] 唐晓晨 , 庞娇艳 , 罗劲. 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[J]. *科学通报* , 2009 ,54( 22) : 3464 - 3474.
- [70] 沈汪兵 , 刘昌 , 张小将 , 陈亚林. 三字字谜顿悟的时间进程和半球效应: 一项 ERP 研究[J]. *心理学*

- 报, 2011, 43(3): 229–240.
- [72] Lang, S., et al., Precursors of insight in event-related brain potentials. *J Cogn Neurosci*, 2006, 18(12): 2152–2166.
- [73] [79] Mai, X. Q., et al., "Aha!" effects in a guessing riddle task: an event-related potential study. *Hum Brain Mapp*, 2004, 22(4): 261–270.
- [74] Qiu, J., et al., Spatiotemporal cortical activation underlies mental preparation for successful riddle solving: an event-related potential study. *Experimental Brain Research*, 2008, 186(4): 629–634.
- [75] Qiu, J., et al., The neural basis of insight problem solving: an event-related potential study. *Brain Cogn*, 2008, 68(1): 100–106.
- [76] [91] Luo, J. and K. Niki, Function of hippocampus in "insight" of problem solving. *Hippocampus*, 2003, 13(3): 316–323.
- [77] Qiu, J., et al., Neural correlates of the "Aha" experiences: evidence from an fMRI study of insight problem solving. *Cortex*, 2010, 46(3): 397–403.
- [78] Dietrich, A. and R. Kanso, A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight. *Psychological Bulletin*, 2010, 136(5): 822–848.
- [80] 买晓琴, 罗劲, 吴建辉, 罗跃嘉. 猜谜作业中顿悟的 ERP 效应[J]. *心理学报*, 2005, 37(1): 19–25.
- [82] [125] 邱江, 张庆林. 字谜解决中的“啊哈”效应: 来自 ERP 研究的证据[J]. *科学通报*, 2007, 52(22): 2625–2631.
- [83] Qiu, J., et al., Brain mechanism of cognitive conflict in a guessing Chinese logograph task. *Neuroreport*, 2006, 17(6): 679–682.
- [84] [86] Aziz-Zadeh, L., J. T. Kaplan, and M. Iacoboni, "Aha!": The neural correlates of verbal insight solutions. *Hum Brain Mapp*, 2009, 30(3): 908–916.
- [85] Luo, J., K. Niki, and S. Phillips, Neural correlates of the Aha! reaction. *Neuroreport*, 2004, 15(13): 2013–2017.
- [87] Rose, M., H. Haider, and C. Buchel, Unconscious detection of implicit expectancies. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17(6): 918–927.
- [89] [90] Bechtereva, N. P., et al., PET study of brain maintenance of verbal creative activity. *Int J Psychophysiol*, 2004, 53(1): 11–20.
- [92] [93] [96] Bhattacharya, J. and H. Petsche, Shadows of artistry: cortical synchrony during perception and imagery of visual art. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2002, 13(2): 179–186.
- [94] [99] Petsche, H., et al., The possible meaning of the upper and lower alpha frequency ranges for cognitive and creative tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 1997, 26(1–3): 77–97.
- [97] [131] Bhattacharya, J. and H. Petsche, Drawing on Mind's Canvas: Differences in Cortical Integration Patterns Between Artists and Non-Artists. *Hum Brain Mapp*, 2005, 26(1): 1–14.
- [100] [109] [105] [116] [117] [118] [120] [122] Brown, S., M. J. Martinez, and L. M. Parsons, Music and language side by side in the brain: A PET study of the generation of melodies and sentences. *European Journal of Neuroscience*, 2006, 23(10): 2791–2803.
- [101] [106] [110] [112] [114] Bengtsson, S. L., M. Csikszentmihályi, and F. Ullén, Cortical regions involved in the generation of musical structures during improvisation in pianists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2007, 19(5): 830–842.
- [102] [111] [113] [115] [121] Limb, C. J. and A. R. Braun, Neural substrates of spontaneous musical performance: an fMRI study of jazz improvisation. *PLoS One*, 2008, 3(2): e1679.
- [103] [107] [134] Berkowitz, A. L. and D. Ansari, Generation of novel motor sequences: the neural correlates of musical improvisation. *Neuroimage*, 2008, 41(2): 535–543.
- [104] [108] [119] Kowatari, Y., et al., Neural networks involved in artistic creativity. *Hum Brain Mapp*,

2009 30(5) : 1678 – 1690.

- [124] Forgeard, M. J. C. , Happy people thrive on adversity: Pre-existing mood moderates the effect of emotion inductions on creative thinking. *Personality and Individual Differences* ,2011 51( 8) : 904 –909.
- [126] Hao, N. , The Effects of Domain Knowledge and Instructional Manipulation on Creative Idea Generation. *The Journal of Creative Behavior* ,2010 44( 4) : 237 –257.
- [127] Leggett Dugosh, K. and P. B. Paulus , Cognitive and social comparison processes in brainstorming. *Journal of Experimental Social Psychology* ,2005 41( 3) : 313 –320.
- [128] Subramaniam, K. , et al. , A brain mechanism for facilitation of insight by positive affect. *J Cogn Neurosci* ,2009 21( 3) : 415 –432.
- [129] Fink, A. , et al. , Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: evidence from an fMRI study. *Neuroimage* ,2010 52( 4) : 1687 –1695.
- [130] Martindale, C. and D. Hines , Creativity and cortical activation during creative , intellectual and EEG feedback tasks. *Biological Psychology* ,1975 3( 2) : 91 –100.
- [136] Kaufman, A. B. , et al. , The neurobiological foundation of creative cognition , in *The Cambridge handbook of creativity*. , J. C. Kaufman and R. J. Sternberg , Editors. Cambridge University Press: New York , NY US. 2010: 216 –232.
- [137] Sawyer, K. , The cognitive neuroscience of creativity: A critical review. *Creativity Research Journal* , 2011 23( 2) : 137 –154.
- [139] Leung, A. K. y. , et al. , Embodied metaphors and creative “acts”. *Psychological Science* ,2012 23( 5) : 502 –509.
- [140] Slepian, M. L. and N. Ambady , Fluid Movement and Creativity. *J Exp Psychol Gen* ,2012.
- [141] Arnott, W. L. , et al. , Semantic priming in Parkinson’s disease: evidence for delayed spreading activation. *J Clin Exp Neuropsychol* ,2001 ,23( 4) : 502 –519.
- [142] Foster, P. S. , et al. , Spreading activation of lexical – semantic networks in Parkinson’s disease. *Neuropsychologia* ,2008 46( 7) : 1908 –1914.
- [143] 周加仙, 教育神经科学: 创建心理、脑与教育之间的永久连接——哈佛大学 Kurt W. Fischer 教授访谈. *全球教育展望* ,2011 ( 1) : 11 –16.

## Neural Correlates Underlying Creativity and Its Implications to Education

HAO Ning

( School of Psychology and Cognitive Science , East China Normal University , Shanghai , 200062 , China)

**Abstract:** In the past dozen years , the great improvements have been made in the field of neuroscience study on creativity. Researchers investigated the neural correlates underlying divergent thinking , insight , artistic creativity and story generation by means of EEG , fMRI , PET , NIRS and so on. Also they explored the differences between creative brains versus noncreative brains , and probed into the neural mechanism which account for the positive effects of some intervening measures on creativity. These studies and interesting findings can not only put our understanding about creativity further but also possess significant implications to education.

**Key words:** creativity; divergent thinking; insight; artistic creativity; educational neuroscience ( 责任校对: 邹逸)