

# 融合视角下创造力的认知神经机制\*

叶超群 刘春雷 林郁泓

(曲阜师范大学心理学院, 曲阜 273165)

**摘要:**创造力的认知神经机制是近年来心理学研究领域的前沿和热点问题。通过融合创造力整体宏观视角和创造性产生过程的微观视角,对创造力的认知神经机制进行了综述。宏观视角下,创造力主要涉及 $\alpha$ 波和大脑前额叶、内外侧额叶以及外侧顶叶;微观视角下,在创造力产生过程中主要涉及 $\alpha$ 波序列位置效应以及默认网络和执行控制网络的功能耦合。未来研究方向应该结合多模态脑成像数据库,利用机器学习来探究创造力的本质;关注青少年群体创造力的纵向发展趋势;结合分子遗传学研究,探究与创造力有关的基因问题。

**关键词:**创造力;神经基础; $\alpha$ 脑电波;默认网络;执行控制网络

**中图分类号:**B842.5

**文献标识码:**A

**文章编号:**1003-5184(2021)01-0028-06

## 1 引言

创造力(creativity)也叫创造性,即个体产生新颖独特且具有社会价值和适用性的产品的能力(Sternberg & Lubart, 1996)。创造力既是决定一个人成就高低的重要因素,又是人类文明基石和社会经济发展进步的不竭动力(Runco & Acar, 2012)。但由于创造力本身的复杂性,直到今天创造力研究领域内仍面临着诸多问题:创造力是怎么产生的?创造力的本质是什么?创造力的神经机制和心理机制是什么?近几十年来,随着认知神经科学的快速发展,为解决创造力的困境以及认识创造力的本质提供了全新的视角(Dietrich & Kanso, 2010; Fink & Benedek, 2014; Luft, Zioga, Thompson, Banissy, & Bhattacharya, 2018; 刘春雷, 王敏, 张庆林, 2009; 罗劲, 2004; 沈汪兵, 刘昌, 陈晶晶, 2010)。基于过去几十年来创造力领域取得的研究发现,通过融合创造力产生的宏观视角和微观视角,对创造力的认知神经机制进行了综述。

## 2 宏观视角下的创造力本质

宏观视角下的创造力研究主要有两种研究取向,一种是任务模式取向,即探讨创造性任务与非创造性任务的脑功能差异;另一种是个体差异模式取向,即探讨高低创造力个体间的脑功能差异。但逐渐也有少数研究开始运用交叉模式,考察不同创造性被试进行创造性思维任务与常规任务的差异(Chavez - Eakle, Graff - Guerrero, Garcia - Reyna, Vaugier, & Cruz - Fuentes, 2007; Fink & Benedek, 2014; 沈汪兵, 刘昌, 陈晶晶, 2010)。

## 2.1 任务差异取向下的创造力的认知神经机制

创造力任务差异取向基于创造性认知的观点,遵循传统的认知取向,认为个体在完成创造性任务和常规任务间的大脑功能和大脑区域的差异反映了创造力的认知神经机制。根据创造力思维的不同,可以将创造力研究范式划分为发散性思维研究范式、聚合性思维研究范式、艺术创造力研究范式。其中发散性思维范式主要是通过让被试完成发散性任务来启动的,常见的发散性思维任务为AUT(alternative use test, AUT)任务;聚合性思维研究范式主要采用远距离联想测验(remote associate test, RAT)、顿悟(insight)来启动被试的聚合性思维;艺术创造力研究范式则主要让被试完成一些艺术创作任务,比如即兴创作或者创作艺术性作品来研究艺术创造力。另外根据在创造性任务中花费时间的控制程度,可以划分为自定步速的研究范式和固定时间的研究范式。

近十几年来大量与创造力相关的EEG研究表明:相比于推理、计算或记忆提取等常规任务,个体在完成创造力任务,比如较为经典且广为使用的AUT任务时伴有更强烈的 $\alpha$ 波(8~12Hz)。例如, Fink等(2007)在创造力研究中发现个体完成AUT任务比完成常规言语智力任务时额叶展现了更强烈的 $\alpha$ 波(Fink, Benedek, Grabner, Staudt, & Neubauer, 2007)。Fink, Graif和Neubauer(2009)在艺术创造力任务中也发现,相比于完成标准常规的华尔兹的任务时,完成即兴舞蹈创作时个体额叶和顶叶也产生了更强的 $\alpha$ 波。在创造力产生进程中,额顶叶 $\alpha$

\* 基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2019MC048),曲阜师范大学研究生学位论文科研创新资助基金项目。

通讯作者:刘春雷, E-mail: liuchunleivip@163.com。

波会随着新颖观点的产生而增强(Fink & Neubauer, 2006; Grabner, Fink, & Neubauer, 2007)。这些研究证据表明创造力产生过程中的 $\alpha$ 波与创造力任务需求是正相关关系。

此外在采用任务态 fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) 探究创造性思维时发现, 额下回(inferior frontal gyrus)的激活参与了执行控制加工从而抑制了旧想法的出现(Benedek et al., 2014)。同样在字词概念创造性扩展任务中, 在新颖性和独创性条件下也发现左侧额下回区域显著激活。这些结果表明额下回负责把远距离或弱相关的语义概念联接起来。其具体表现为前部的额下回参与语义检索, 中部的额下回负责选择符合任务需求的语义信息。Green 等人发现背侧额极负责了远距离信息的整合, 在创造性推理任务中起着重要作用(Green, Kraemer, Fugelsang, Gray, & Dunbar, 2012)。在创造性任务中, 前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)和背外侧前额叶会出现共同激活或失活模式(Howard - Jones, Blakemore, Samuel, Summers, & Claxton, 2005)。研究者发现背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)和背侧前扣带回(dorsal anterior cingulate cortex, dACC)在新颖故事的创作中起着关键作用, 他们推测背外侧前额叶负责新思路形成, 工作记忆和认知灵活性等认知加工, 而背侧前扣带回在选择性加工方面起到作用(Shah et al., 2013)。特别是在故事创作的酝酿阶段, 背外侧前额叶和背侧前扣带回对故事思路形成和想法粘合起到选择和监控的作用。在创造性隐喻任务的研究发现背内侧前额叶(dorsomedial prefrontal cortex, DMPFC)的激活强度与独创性得分正相关, 这说明前额叶负责执行控制加工的区域促进了创新想法的产生(Mashal et al., 2007)。有研究者比较创造力任务难度变化所带来的神经机制的差异, 脑成像结果显示, 复杂任务较简单任务更多激活了左侧额中回。研究者结合以往研究认为, 该区域的激活可能与词语工作记忆、转换加工及灵活性等多种加工的保持有关(Bechtereva et al., 2004)。

除了对单一创造力任务的研究, 有研究者进一步探究了多种创造力任务之间的脑功能差异。任务态 fMRI 脑成像结果显示, 复杂任务较简单任务更多激活了左侧额中回, 该区域的激活可能与词语工作记忆、转换加工及灵活性等多种加工的保持有关。Fink 等(2007)采用 EEG 探究替代用途测验(alternative uses task, AUT)、虚拟情景任务(utopian situation task, US)、顿悟任务(the insight task, IS)以及字词结尾任务(word ends task, WE)四种不同类型的创造性任务之间的差异。行为数据分析表明, 在

IS、US 和 AUT 任务中的表现与创造力中“大五人格”的开放性经验(openness to experiences)紧密相关, 而 WE 任务则与言语智力之间存在显著相关(Fink et al., 2007)。因此, IS、US 和 AU 任务更依赖于发散性、自由联想等能力, 而 WE 任务则更多涉及聚合性思维和流体智力等。EEG 结果显示, 这四种创造性任务完成期间都伴随着额叶脑区相对较强的 $\alpha$ 波, 但在大脑后部区域它们却有显著差异(Fink et al., 2007)。这表明 $\alpha$ 波会随着创造力任务需求的增加而增强。Fink 等人进一步运用 EEG 和 fMRI 技术探究了发散性思维和聚合性思维的差异。fMRI 成像结果表明创造性任务相比于常规任务, 个体在创造力任务中多表现为左侧角回和右侧枕下回激活。EEG 结果显示, 在物体创造性任务下, 发散性思维相比于聚合性思维在额叶(含前额叶、额叶中央等)表现出更显著的高频 $\gamma$ 波(28 ~ 100 Hz); 在语言创造性任务下, 发散性思维相比于聚合性思维在右侧后顶叶(含顶枕联合皮层、颞 - 顶联合皮层等)出现高频 $\gamma$ 波; 高创造力被试较低创造力被试更多激活了右半球, 而低创造力被试两半球差异不显著(Fink, Grabner, et al., 2009)。这些结果反映被试在进行 AUT 任务过程中为实现远距离新颖联结的接通, 主动切断(switch - off)了额叶的监控和优势联结, 后顶叶等的激活则意味着创造力过程中需较多注意与视觉加工, 特别是在视觉呈现的言语创造力评估中。

## 2.2 个体差异取向创造力认知神经机制

创造力个体差异研究取向主要倾向于认为个体的创造力是一种较为稳定的特质, 这种特质可以通过创造力测量获得并和大脑水平的个体差异存在关联(Bendetowicz, Urbanski, Aichelburg, Levy, & Volle, 2017)。个体差异的脑机制研究更关注个体间创造力的变异性, 能够揭示出高低创造力个体在大脑结构和功能上的差异以及哪些因素在大脑水平上影响个体的创造性。

Fink 和 Neubauer(2008)研究发现相比于低创造性个体, 高创造性个体在创造性任务中表现出更强的 $\alpha$ 频段(8 - 12Hz)能量(power)(Fink & Neubauer, 2008)。更进一步的研究发现, 在发散性任务期间, 高创造性思维个体在额叶和顶叶区域的 $\alpha$ 频段能量增加的时间要显著长于低创造性思维个体。Razoumnikov(2000)发现, 在较高的 $\alpha$ 频段(10 - 12Hz)中, 高创造性个体与一般创造性个体相比具有更大的右半球内相干性和更大的左右半球间相干性, 高创造性个体的右半球内相干性在中央和顶叶区域之间最为突出(Razoumnikova, 2000)。Fink 等(2009)发现, 一群具有多年即兴舞蹈创作经验的专业舞者完成 AUT 任务期间在大脑后部区域(即中

央顶叶、颞-顶联合区和顶-枕联合区)表现出更强的 $\alpha$ 频段能量。此外,在即兴舞蹈的想象中,专业舞者也比新手表现出更高的 $\alpha$ 频段能量,但在想象创作涉及单调步伐和动作的标准舞蹈时并不显著(Fink, Graif, & Neubauer, 2009)。

在创造性人格的研究中发现高创造力个体与精神疾病患者共有的人格特质,主要包括:精神质、分裂质、妄想等。有研究发现分裂性人格特质得分高的个体会展现出更好的创造性表现(Fisher et al., 2004; Kinney et al., 2001)。神经影像学研究发现高精神分裂性人格的个体在创造性思维任务中右侧楔前叶有更小的失活(Fink, Weber, et al., 2014)。进一步研究发现,高创造性得分个体和高精神分裂性人格的个体在创造性任务中的大脑激活相似,这表明创造性思维加工和精神病性倾向存在共同的加工过程。例如,高精神分裂质人格的个体在新颖体验和冲动性得分比普通个体更高,在创造性任务下双侧颞下回、左侧脑岛、顶叶和右侧角回等区域的激活更小(Park, Kirk, & Waldie, 2015)。

### 3 微观视角下的创造力本质

宏观视角是从创造性个体差异和创造性任务差异,这样一个创造力整体的角度来探究创造力的认知神经机制。但最近几年,从创造力产生的过程入手,探究创造力产生过程中所发生的心理机制和神经机制的变化,使得我们能够更加深刻地认识创造力的本质。

#### 3.1 创造力产生过程中的序列位置效应

Beaty 和 Silvia (2012) 在运用 AUT 任务研究发散性思维的研究中,首次发现了发散性思维产生进程中的序列顺序效应(serial order effect)。即被试的创造力想法的流畅性在任务开始的1分钟内达到峰值,然后迅速下降,并随着时间的变化而逐渐降低直至趋于平缓;但独创性随着时间的增加而逐渐增加,然后逐渐趋于平缓,并在任务结束的时候达到一个峰值(Beaty & Silvia, 2012)。这一结果从行为数据上表明发散性思维的认知过程存在明显的时程特征。后续的 EEG 研究发现 alpha 神经振荡在创造性思维产生进程中也存在序列顺序效应,但不再是线性变化,而是一种类似的 U 型趋势。具体表现为创造性思维产生初始阶段 $\alpha$ 频段能量(power)增强,随后降低,最后再次增强至顶峰的一种变化趋势(Kraus, Cadle, & Simon - Dack, 2019; Rominger et al., 2019; Schwab, Benedek, Papousek, Weiss, & Fink, 2014; Wang, Hao, Ku, Grabner, & Fink, 2017)。这反映了在创造性产生进程中,个体在不同的阶段采取不同的策略和涉及到的大脑不同的认知功能。在创造力产生初期主要采用大范围发散的策略,依赖于对以往的知识经验和长期记忆的提取;第二阶段采

用筛选剔除的策略,通过对诸多想法的比较,筛选出更具创造力的想法,剔除一般的、常规的、缺乏创造力的想法;第三阶段再次对答案进行揣摩反思。可以发现在创造力产生过程中抑制控制发挥着关键的作用。最近一项研究表明,创造性思维产生过程中 $\alpha$ 能量的时间进程变化能够预测个体想法的独创性变化趋势。额叶、中央和颞叶的 $\alpha$ 能量变化能够预测创造性思维产生过程第一阶段的独创性想法的产生,而中央顶叶的 $\alpha$ 能量同步化则能够持续预测整个创造性思维产生过程中的反应独创性变化趋势。此外,额叶部位的双侧半球效应和中央、颞叶和顶叶部位的左半球效应是预测个体原创性增加的重要因素(Agnoli, Zanon, Mastria, Avenanti, & Corazza, 2020)。这些发现强调了在创造性思维产生过程中 $\alpha$ 能量的时间动态变化,并支持了创造性思维产生过程中特定大脑区域的不同作用。

#### 3.2 创造力产生过程中的默认网络与认知控制网络的功能耦合

就大脑功能网络的层次而言,在创造性思维产生过程中激活的大脑网络主要有认知控制网络(cognitive control network, CCN)和默认网络(default mode network, DMN)。CCN 主要包括背外侧和腹外侧前额叶皮质的延伸区域以及上顶叶皮质的部分,它主要涉及记忆提取,抑制控制,信息整合加工,工作记忆和任务转换等认知控制功能。这些认知控制功能极大地促进了创造性思维的产生。大量的研究表明顶上和背外侧前额叶等认知控制网络的关键区域在很多创造性思维任务中起着重要的作用(Aziz - Zadeh, Liew, & Dandekar, 2013; Liu et al., 2015; Shi et al., 2019; Tang et al., 2016)。默认网络,由中线区域组成,如内侧前额叶皮质和后扣带回皮质,以及下顶叶皮质的后部。它通常与自我生成的思想和自发性认知有关,即与独立于外部刺激输入,源自于内部心理活动的内在关注的一种认知过程有关,是自发思维产生的神经基础。在创造性任务中这两个相互拮抗的网络却在创造性认知加工中表现出共同的激活,彼此间还具有显著的正向功能连接,意味着创造性思维的产生可能涉及一种独特的神经加工机制。即由默认网络负责的自下而上的自发性联想有助于产生新颖的联结,同时也需要额顶控制网络自上而下地对常规观点以及无意义的答案进行抑制、过滤和选择(陈群林, 2017)。

任务态与静息态 fMRI 对创造力产生过程中 CCN 和 DMN 的关系展开了大量研究。Beaty, Christensen, Benedek, Silvia 和 Schacter (2017) 采用新颖动词生成任务来考察言语发散思维引起的大脑神经网络连接模式。结果表明,认知控制有助于抑制优势的语义反应,并与自发性的思维过程相互协作,进

而促进从记忆系统中提取远距离的新颖概念。由此可见,默认网络与额顶控制网络的功能协作均参与了创造性思维过程。静息态 fMRI 考察创造性思维的大脑神经网络连接模式,有研究者运用 TTCT 测验考察发散性思维的静息态功能网络连接模式。结果显示,发散思维均与默认网络内和额顶控制网络内的功能连接强度呈负相关,同时也与默认网络和额顶控制网络间的功能连接强度呈正相关(Zhu et al., 2017)。但涉及的神经网络子成分有所区别,如言语发散思维与前部默认网络和右侧额顶网络的功能连接正相关,视觉发散思维则与后部默认网络和左侧额顶网络的功能连接正相关。由此可见,创造性思维产生的功能神经网络确实存在着特殊性和一般性(Beaty et al., 2018; Chen, Beaty, & Qiu, 2020)。有研究者整合了 70 名大学生的静息态和 AUT 任务态 fMRI 数据,并基于独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)进行功能连接探究。结果表明,与物体典型特征相比,新颖用途条件引起了后部默认网络与右侧额顶控制网络间更强的功能连接,以及左右侧额顶控制网络间更弱的功能连接;静息态结果显示前部默认网络与左侧额顶控制网络间的功能连接与个体独创性得分有显著正相关。该研究揭示了创造性思维受益于默认网络与额顶控制网络间的协作而非额顶控制网络内的协作(Shi et al., 2018)。此外,对大脑功能连通性的分析显示,CCN 和 DMN 并不孤立地起作用,实际上在包括发散思维在内的许多创造性认知形式中都显示出两者的功能耦合(Beaty, Benedek, Kaufman, & Silvia, 2015)。

以上研究结果揭示了创造性力产生过程中密切相关的神经网络的重要连接特征,主要包括默认网络、认知控制网络、突显网络及其核心脑区的功能连接,体现了创造性认知加工的复杂性,涉及多个神经网络的功能协作。具体而言,想法产生阶段主要激活默认网络负责创造性观念的生成和长时记忆的提取加工;想法评估阶段则主要激活认知控制网络,对大量的创造性观点进行筛选、修正和评价。这两个阶段循环往复、协同作用,才使得创造力得以产生(He et al., 2020)。

#### 4 总结与展望

综上所述,从创造力整体宏观视角和创造性产生过程的微观视角,对近几十年创造力的认知神经机制展开了系统条理的梳理和总结。可以发现创造力作为一种高级认知功能,其神经基础也并不局限于单一脑区,而是涉及复杂认知机制和诸多脑区、多个脑网络的动态协作(Beaty, Benedek, Silvia, & Schacter, 2016; Sun et al., 2019)。在创造力产生的整体过程这一宏观视角下,运用 EEG 探究创造力的认知神经机制可以发现,α 波对于创造力的产生异

常敏感,一般来讲 α 波功率与创造力成正相关。具体来说,高创造力个体在完成创造力任务时 α 波强度显著大于低创造力个体,同一批个体在完成创造性任务时 α 波强度显著大于常规任务的完成,α 波的强度会随着创造力任务难度的增加而变强(Dietrich & Kanso, 2010; Fink & Benedek, 2014; Rosen et al., 2020)。运用 fMRI 研究创造性思维的神经机制发现,前额叶,包括背外侧前额叶(DLPFC)和腹外侧前额叶区域(VLPFC)参与了创造性思维的产生(Fink, Grabner, et al., 2009; Fink et al., 2010),额下回(腹外侧前额叶区域的子区域)参与了执行控制加工,从而抑制了旧想法的出现。但总体来看,前额叶皮质主要与创造性思维进程中相关的认知功能以及语义控制和检索有关,但其各个子区域功能的特异性还未有完整的定论。此外,左侧颞顶区在创造性任务中,与涉及到基本的语言加工,如言语、语句理解以及言语知觉等方面的能力密切相关。后部顶叶皮层也是创造性思维产生的关键脑区成分,在执行控制功能、信息整合、语义加工、知识表征整合方面具有重要的作用。

在创造力产生过程中所发生的神经机制这一微观视角下,可以发现在创造性思维产生过程中 α 能量的序列位置效应,这反映了大脑在创造力产生过程中的所采取的认识策略和神经机制的动态变化。在创造性思维产生过程中 α 能量的增强可能反映了一种对外部刺激的自下而上的抑制加工,即大脑处于一种内部导向的自上而下的认知控制状态;抑或是反映了一种在创造性认知过程中对特定记忆的提取加工。而创造力产生过程中所涉及到的神经网络层次的变化则主要涉及到默认网络和认知控制网络,虽然两者在功能方面存在着拮抗作用,但越来越多的脑成像研究发现创造性认知过程涉及到这两者的功能耦合(Chen et al., 2020; He et al., 2020; Sun et al., 2019)。

虽然目前创造力的研究取得了极大的进展,但总体而言创造力研究领域仍然处于一种起步阶段,仍面临着诸多问题亟待解决。未来的研究方向可以从以下几个方面展开:

第一,为了更加深刻全面的认识创造力的本质,应当结合多种研究手段,比如结合多模态脑成像技术以及神经调控技术从功能和结构分离的角度探究创造力的本质。与此同时,除了任务态脑成像研究以外,建立个体创造力相关的静息态脑成像大数据库,结合大数据,运用机器学习(Stevens & Zabelina, 2020)、深度学习等方法预测创造力的发展趋势。

第二,当下创造力研究多是横向研究,未来的研究应多采用纵向追踪研究,重点关注青少年群体。探究青少年群体发展的“拐点”和关键期,建立一套

适合中国青少年创造力发展的培养模式。

第三,除了创造力本身以外,还应当关注创造力的遗传基因机制。分子遗传学的快速发展和跨领域研究的兴起,创造力研究者也开始关注分子水平上的创造力遗传机制(Ren, Yang, & Qiu, 2019)。发现和确定影响个体创造力产生、发展的遗传基因,揭示创造力的基因遗传机制将会成为未来的研究热点。

### 参考文献

- 陈群林. (2017). 预测创造性的脑影像指标体系的研究(博士论文). 西南大学, 重庆.
- 刘春雷, 王敏, 张庆林. (2009). 创造性思维的脑机制. *心理科学进展*, 17(1), 106 - 111.
- 罗劲. (2004). 顿悟的大脑机制. *心理学报*, 36(2), 219 - 234.
- 沈汪兵, 刘昌, 陈晶晶. (2010). 创造力的脑结构与脑功能基础. *心理科学进展*, 18(9), 1420 - 1429.
- Agnoli, S., Zanon, M., Mastria, S., Avenanti, A., & Corazza, G. E. (2020). Predicting response originality through brain activity: An analysis of changes in EEG alpha power during the generation of alternative ideas. *Neuroimage*, 207, 116 - 385.
- Aziz - Zadeh, L., Liew, S. - L., & Dandekar, F. (2013). Exploring the neural correlates of visual creativity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(4), 475 - 480.
- Beaty, R. E., Benedek, M., Kaufman, S. B., & Silvia, P. J. (2015). Default and executive network coupling supports creative idea production. *Scientific Reports*, 5, 10964.
- Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(2), 87 - 95.
- Beaty, R. E., Christensen, A. P., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2017). Creative constraints: Brain activity and network dynamics underlying semantic interference during idea production. *Neuroimage*, 148, 189 - 196.
- Beaty, R. E., Kenett, Y. N., Christensen, A. P., Rosenberg, M. D., Benedek, M., Chen, Q., ... Silvia, P. J. (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(5), 1087 - 1092.
- Beaty, R. E., & Silvia, P. J. (2012). Why do ideas get more creative across time? An executive interpretation of the serial order effect in divergent thinking tasks. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6(4), 309 - 319.
- 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.
- Bendetowicz, D., Urbanski, M., Aichelburg, C., Levy, R., & Volle, E. (2017). Brain morphometry predicts individual creative potential and the ability to combine remote ideas. *Cortex*, 86, 216 - 229.
- Benedek, M., Jauk, E., Fink, A., Koschutnig, K., Reishofer, G., Ebner, F., & Neubauer, A. C. (2014). To create or to recall? Neural mechanisms underlying the generation of creative new ideas. *Neuroimage*, 88, 125 - 133.
- Chavez - Eakle, R. A., Graff - Guerrero, A., Garcia - Reyna, J. C., Vaugier, V., & Cruz - Fuentes, C. (2007). Cerebral blood flow associated with creative performance: A comparative study. *Neuroimage*, 38(3), 519 - 528.
- Chen, Q. L., Beaty, R. E., & Qiu, J. (2020). Mapping the artistic brain: Common and distinct neural activations associated with musical, drawing, and literary creativity. *Human Brain Mapping*, 41(12), 3403 - 3419.
- Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822 - 848.
- Fink, A., & Benedek, M. (2014). EEG alpha power and creative ideation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 111 - 123.
- Fink, A., Benedek, M., Grabner, R. H., Staudt, B., & Neubauer, A. C. (2007). Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods*, 42(1), 68 - 76.
- Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., Reishofer, G., Hauswirth, V., Fally, M., ... Neubauer, A. C. (2009). The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Human Brain Mapping*, 30(3), 734 - 748.
- Fink, A., Grabner, R. H., Gebauer, D., Reishofer, G., Koschutnig, K., & Ebner, F. (2010). Enhancing creativity by means of cognitive stimulation: Evidence from an fMRI study. *Neuroimage*, 52(4), 1687 - 1695.
- Fink, A., Graif, B., & Neubauer, A. C. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *Neuroimage*, 46(3), 854 - 862.
- Fink, A., & Neubauer, A. C. (2006). EEG alpha oscillations during the performance of verbal creativity tasks: Differential effects of sex and verbal intelligence. *International Journal of Psychophysiology*, 62(1), 46 - 53.
- Fink, A., & Neubauer, A. C. (2008). Eysenck meets Martindale: The relationship between extraversion and originality from the neuroscientific perspective. *Personality and Individual Differences*, 44(1), 299 - 310.
- Grabner, R. H., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2007). Brain correlates of self - rated originality of ideas: Evidence from event - related power and phase - locking changes in the EEG. *Behavioral Neuroscience*, 121(1), 224 - 230.
- Green, A. E., Kraemer, D. J. M., Fugelsang, J. A., Gray, J. R., & Dunbar, K. N. (2012). Neural correlates of creativity in analogical reasoning. *Journal of Experimental Psychology - Learning Memory and Cognition*, 38(2), 264 - 272.
- He, L., Li, Y., Zhuang, K., Chen, Q., Sun, J., Yang, W., ... Qiu, J. (2020). Network connectivity of the creative brain: Current knowledge and future directions. *Chinese Science Bulletin*, 65(0023 - 074X), 25.

- Howard – Jones, P. A. , Blakemore, S. – J. , Samuel, E. A. , Summers, I. R. , & Claxton, G. (2005). Semantic divergence and creative story generation: An fMRI investigation. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 240 – 250.
- Kraus, B. , Cadle, C. , & Simon – Dack, S. (2019). EEG alpha activity is moderated by the serial order effect during divergent thinking. *Biological Psychology*, 145, 84 – 95.
- Liu, S. , Erkkinen, M. G. , Healey, M. L. , Xu, Y. , Swett, K. E. , Chow, H. M. , & Braun, A. R. (2015). Brain activity and connectivity during poetry composition: Toward a multidimensional model of the creative process. *Human Brain Mapping*, 36(9), 3351 – 3372.
- Luft, C. D. B. , Zioga, I. , Thompson, N. M. , Banissy, M. J. , & Bhattacharya, J. (2018). Right temporal alpha oscillations as a neural mechanism for inhibiting obvious associations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(52), E12144 – E12152.
- Park, H. R. P. , Kirk, I. J. , & Waldie, K. E. (2015). Neural correlates of creative thinking and schizotypy. *Neuropsychologia*, 73, 94 – 107.
- Razoumnikova, O. M. (2000). Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: An EEG investigation. *Cognitive Brain Research*, 10(1 – 2), 11 – 18.
- Ren, Z. T. , Yang, W. J. , & Qiu, J. (2019). Neural and genetic mechanisms of creative potential. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 27, 40 – 46.
- Rominger, C. , Papousek, I. , Perchtold, C. M. , Benedek, M. , Weiss, E. M. , Schwerdtfeger, A. , & Fink, A. (2019). Creativity is associated with a characteristic U – shaped function of alpha power changes accompanied by an early increase in functional coupling. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 19(4), 1012 – 1021.
- Rosen, D. S. , Oh, Y. , Erickson, B. , Zhang, F. , Kim, Y. E. , & Kounios, J. (2020). Dual – process contributions to creativity in jazz improvisations: An SPM – EEG study. *Neuroimage*, 213, 116632.
- Runco, M. A. , & Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal*, 24(1), 66 – 75.
- Schwab, D. , Benedek, M. , Papousek, I. , Weiss, E. M. , & Fink, A. (2014). The time – course of EEG alpha power changes in creative ideation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 310.
- Shi, L. , Beaty, R. E. , Chen, Q. , Sun, J. , Wei, D. , Yang, W. , & Qiu, J. (2020). Brain entropy is associated with divergent thinking. *Cerebral Cortex*, 30(2), 708 – 717.
- Shi, L. , Sun, J. Z. , Xia, Y. M. , Ren, Z. T. , Chen, Q. L. , Wei, D. T. , . . . Qiu, J. (2018). Large – scale brain network connectivity underlying creativity in resting – state and task fMRI: Cooperation between default network and frontal – parietal network. *Biological Psychology*, 135, 102 – 111.
- Sternberg, R. J. , & Lubart, T. I. (1996). Investing in creativity. *American Psychologist*, 7, 677 – 688.
- Stevens, C. E. Jr. , & Zabelina, D. L. (2020). Classifying creativity: Applying machine learning techniques to divergent thinking EEG data. *Neuroimage*, 219, 116990.
- Sun, J. Z. , Liu, Z. W. , Rolls, E. T. , Chen, Q. L. , Yao, Y. , Yang, W. J. , . . . Qiu, J. (2019). Verbal creativity correlates with the temporal variability of brain networks during the resting state. *Cerebral Cortex*, 29(3), 1047 – 1058.
- Tang, X. , Pang, J. , Nie, Q. Y. , Conci, M. , Luo, J. , & Luo, J. (2016). Probing the cognitive mechanism of mental representational change during chunk decomposition: A parametric fMRI Study. *Cerebral Cortex*, 26(7), 2991 – 2999.
- Wang, M. , Hao, N. , Ku, Y. , Grabner, R. H. , & Fink, A. (2017). Neural correlates of serial order effect in verbal divergent thinking. *Neuropsychologia*, 99, 92 – 100.
- Zhu, W. F. , Chen, Q. L. , Xia, L. X. , Beaty, R. E. , Yang, W. J. , Tian, F. , . . . Qiu, J. (2017). Common and distinct brain networks underlying verbal and visual creativity. *Human Brain Mapping*, 38(4), 2094 – 2111.

## An Integrated Perspective in Cognitive Neural Mechanism of Creativity

Ye Chaoqun Liu Chunlei Lin Yuhong

(School of Psychology, Qufu Normal University, Qufu 273165)

**Abstract:** Identifying and exploring cognitive neural mechanism of creativity have become a hotspot for psychological research in recent years. Through the integration of the overall macro perspective of creativity and the micro perspective of the creative generation process, the cognitive neural mechanism of creativity is reviewed. From the macro perspective, creativity mainly involves electroencephalography (EEG) alpha waves, as well as prefrontal, medial, lateral temporal, and lateral parietal lobes. From the micro perspective, creativity generation mainly involves the serial order effect of EEG alpha power and the functional coupling of default networks and executive control networks. In the future, multimodal brain imaging combining with machine learning algorithms can be employed to explore the essence of creativity; studies can investigate the longitudinal development pattern of creativity in adolescents; molecular genetic research can be carried out to explore genetic issues related to creativity.

**Key words:** creativity; neural mechanism; alpha; cognitive control network (CCN); default mode network (DMN)