

从困境到超越：顿悟的脑机制研究

罗 劲 张秀玲

(中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101)

摘 要 在 1913~1920 年间, 德国心理学家苛勒进行了有关顿悟的经典实验。苛勒发现挑战了当时占主导地位的“尝试-错误”学习理论, 表明问题解决行为可以以一种突发的形式产生, 并在一瞬间获得对于问题情境的全新的思考和把握。但是直到最近心理学家才开始逐渐认识顿悟的大脑机制。该文介绍了近期围绕顿悟过程开展的脑成像研究, 介绍了有关的研究方法, 并讨论了参与顿悟过程的各个关键脑区的功能。

关键词 顿悟, 问题解决, 脑成像。

分类号 B842

2000 年, 在艾森克和基恩出版的《认知心理学》(第四版) 中作者指出: “令人遗憾的是, 对顿悟问题的认知神经心理学研究是出奇的少”^[1]。但这个状况在其后的几年间发生了明显的改变: 2003 年我们在 *Hippocampus* 杂志上发表了第一项有关人类顿悟过程的脑成像的研究^[2], 并在其后采用高空间分辨率的功能核磁共振成像技术 (fMRI) 和高空间分辨率的事件相关电位技术 (ERP) 取得了相互印证的结果^[3,4]; 2004 年美国西北大学 Mark Jung-Beeman 的研究小组也在 *PlosBiology* 杂志上报告了他们关于顿悟的研究脑成像实验^[5], 并在 *Trends in Cognitive Sciences* 杂志上发表了有关理论综述^[6]。这些事件说明, 人们已经启动了对于顿悟的大脑过程的科学探索。

上述进步主要得益于当代脑成像技术的出现和使用。但从以 fMRI 为代表的脑成像技术的大规模蓬勃开展到有关顿悟的脑机制研究的出现经历了大约 5~7 年的时间, 这其中的原因, 除了大多数认知心理学家在脑成像技术出现的最初几年并未运用此类技术之外, 顿悟问题本身的一些特性也在一定程度上阻碍了脑成像技术的使用。首先, 脑成像技术一般要求所检测的心理事件在有限的特定时间之内发生, 而在自然状态下, 对顿悟的问题的思考时间是不确定的, 顿悟发生的时间点也不可预期, 有的问题只需要思考几秒钟便能顿悟, 有的问题可能需要几天甚至几年的时间才能解决。其次,

目前的脑成像研究要求采用多次心理事件叠加的方法以保证信号提取的有效性, 但经典的顿悟问题只有蜡烛问题、双绳问题、九点问题和六火柴问题等非常有限的几个。

因此, 如何在有限的时间之内诱发多次顿悟是利用脑成像技术研究顿悟的关键。目前, 有两种实验“多事件”顿悟范式被用来研究顿悟的大脑机制。一是我们所采用的“谜语法”^[2], 这种方法以传统的谜语作为实验材料 (比如: “你杀死了她, 却得流你自己的血”——谜底: 蚊子), 通过向被试呈现标准答案来催化顿悟过程, 实验先用预备测验筛选那些人们能理解但却不能解答的谜语作为实验材料, 然后在脑成像扫描中, 先向被试呈现事先选好的谜面使之进入对特定问题的思索状态, 而后呈现答案以促成瞬间的“啊哈!”效应。除“谜语法”之外, 还有 Jung-Beeman 等所采用的“词语法”^[5]。实验给被试三个互不相干的词, 比如 pine (松树), crab (螃蟹), sauce (调味料), 要求被试找到一个词, 这个词与上述的三个词中的无论哪一个结合在一起, 都能够形成一个常见的合成词或者短语, 比如 apple (苹果) 与上述的三个词结合, 会产生 pineapple (菠萝), crab apple (山楂) 和 apple sauce (苹果酱)。研究发现, 被试在解决有些项目时, 会产生“啊哈!”反应。研究者根据被试的评判, 将成功解答的项目分成两类, 一类项目被试在解决的时候伴随有“啊哈!”反应, 而另外一类则不伴随有“啊哈!”反应。考虑到被试做出按键反应的时刻其实是在顿悟发生以后, 因此, 研究者将顿悟发生的时间点锁定在按键反应前的几秒。

收稿日期: 2006-06-01

通讯作者: 罗劲, E-mail: luoj@psych.ac.cn

上述两种方式各有利弊。Jung-Beeman 等的“词语法”的优点是研究了人们自发的顿悟过程，但缺点是这种方法所研究的顿悟并不包含明显的问题重构过程。重构一直被认为是判断顿悟出现与否的最基本的指标，理论家 Weisberg 指出^[7]，要判断一种认知任务是否涉及顿悟过程，应该在问题解决者最初对问题的解答与最终的正确解答之间进行比较。一个包含顿悟过程的认知任务必须至少满足（1）最终的正确答案与最初的解答不同，（2）最终的正确答案是通过一个重构过程而获得的，（3）这个重构过程是唯一的获得正确答案的途径。从这个标准看“词语法”不是理想的顿悟任务，因为其中所包含的重构过程并不明显。而且，研究者只能从被试主观报告的时刻（按键反应）反过来逆推顿悟实际发生的时间，这也并不完全适合对心理事件发生的时间点要求较高的事件相关分析方法。

而我们所采用的“谜语法”避免了“词语法”的上述两个缺陷，比如，对于大多数未能自行解决的谜语，被试在看到标准答案之后，将他们失败的主要原因归结为“想到另外一个方面去了”^[3]，这说明在谜语解决过程中被试最初的想法与最后的解决存在根本的不同，这样就确保了重构过程的存在。但“谜语法”的缺点在于被试无需自己寻求问题的正确答案，而只需领悟直接提供给他们正确答案，傅小兰认为这更像是一种领悟过程而非顿悟过程^[8]。

因此，人们目前实际上还没有发明出一种较理想的实验设计利用脑成像技术研究顿悟的大脑过程。较理想的顿悟研究设计应该满足以下几个条件：（1）在特定的时间内令被试多次产生顿悟；（2）每次顿悟都包含明显的认知上的重构过程；（3）每次顿悟都激起“啊哈！”反应；（4）顿悟最好是自发产生的；（5）能够有一种与顿悟过程相匹配的参照性的认知过程，这个过程除了关键的地方（比如重构过程和“啊哈！”反应）与顿悟不同之外，其它方面与顿悟十分接近。

下面，本文将介绍一些我们采用谜语法研究顿悟的脑机制的发现。

1 顿悟究竟有多特殊？

有两种观点可能潜在地否认将顿悟作为心理学研究对象的合理性。一是将顿悟视为“神启”，认为顿悟不是由人脑自己产生的，而是由超自然或者超常规的力量赋予的，这就使得顿悟在理

论上变成了一种心灵感应而难以被研究。另一种观点则与此相反，它认为顿悟同其它问题解决过程相比并无特殊之处，主张人们解决顿悟问题无非是在以前的知识和技能的基础上作一些修改，使之适合当前的问题情境而已。首先，研究发现在解决“九点问题”时，向其提供关键性的提示（“这个问题只有在把直线画出九点矩阵所圈定的框子以外时才能解决”）其实并不能有效地促成问题的解决，相反，如果让被试做与此问题高度类似的练习，则他们解决此问题的可能性就会大得多。其次，对于这样一个问题：“有人想向一位商人出售一枚精美的古代青铜钱币，钱币的正面是一位皇帝的头像，反面写着‘公元前 554 年’，这位商人看了一下钱币，便断定它是假的，这是为什么？”很多人都能顺利地解决这个问题，但研究者观察到大部分人在意识到生活在公元前的人其实并不能预知在他们的未来会有这样的纪年方式时，并没有表现出通常所说的“啊哈！”感。第三，曾有人用计算机模型成功地模拟了各领域重大科学发现的产生过程，而有趣的是研究者所使采用的仅是用以解决普通问题的常规程序，并未加入任何新的因素，这说明突破性发现的产生似乎无须新的认知成分参与。

但坚持顿悟过程特殊性的研究者则不同意上述的观点，他们的反驳包括：（1）人们在解决“九点问题”时所遇到的困难是多重的，单一的提示并不足以提供有力的帮助。Kershaw 和 Ohlsson 新近的实验证明^[9]，要解决“九点问题”，被试不但要能够在没有黑点的空白处让直线拐弯，还要能够想象出在成功解决时四条直线所构成的形状——一个类似箭头的图形，实验证实，如果只提供对被试针对其中某一种障碍的训练，则被试成功解决问题的可能性并没有多大提高，而如果提供给被试能帮助其克服多重困难的复合训练，则被试解决问题的可能性就大大地增加了。（2）对于“古币问题”的研究，一个直接的反驳是“古币问题”不包含重构过程，要解决这个问题的解决，被试只需仔细审视谜面上所提供的信息即可，因此这并不是一个典型的顿悟问题。（3）对于用计算机程序模拟重大科学发现的研究，其中的问题在于人们首先必须预先定义某个初始状态，并制定一系列的运算原则，进而令程序运转而获得结果。但人们事实上无法保证他们为计算机所设立的初试状态以及定义问题的方式与那些科学家在做出重大发现的当时的问题表征

方式是一样的，因而也就无法推知那些重大发现的做出是否借用了非同一般的认知过程。

迄今为止，有关是否存在一个独特的顿悟式问题解决过程的证据重要来自以下的几个方面：(1) 做出重大科学发现、技术发明以及艺术杰作的科学家与艺术家的内省报告；(2) 广泛的有关动物与儿童的问题解决过程的实验观察；(3) 顿悟式问题解决过程可能具有一些有别于常规问题解决的认知特性，其中最为突出的有两点，一是顿悟过程不易用言语来表达^[10]，二是顿悟过程的来临不受元认知机制的有效监测^[11]。

从严格的意义上讲，要在研究中确切地检验顿

悟过程是否存在特殊之处，那么必须至少包含“顿悟”与“非顿悟”两种条件，并在这两种条件之间进行直接比较。但事实上除了少数例外（如在 Metcalfe 的研究中比较了顿悟问题与非顿悟问题的元记忆监控特征^[11]，而在 Knoblich 等的研究中比较了一般性运算中的火柴移动与组块破解时的火柴移动的认知及眼动特征^[12]），绝大部分有关顿悟的研究只是简单地选取了一项或者多项经典的顿悟问题作为实验材料，但并没有包含供参照和对比的“非顿悟”的实验条件，因此并不能很好地符合判决性实验的标准。

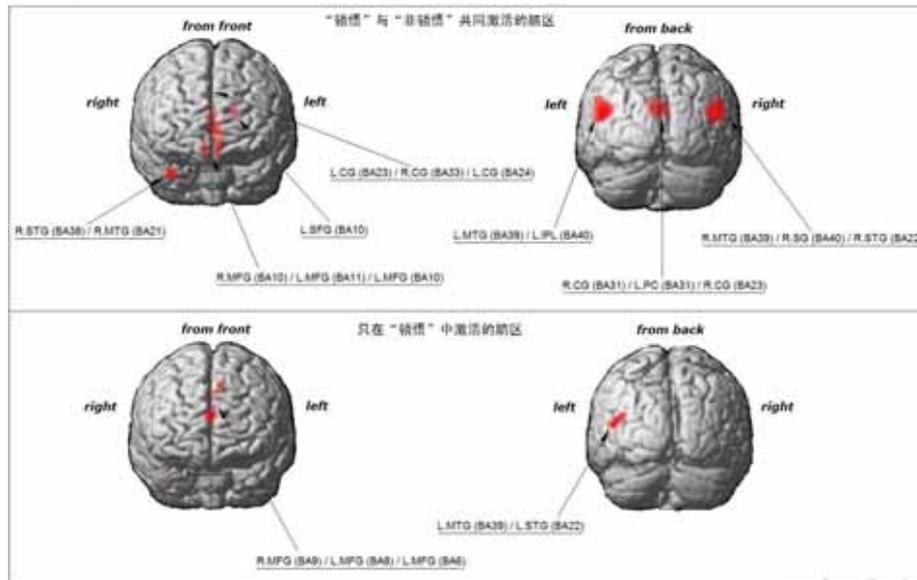


图 1. 参与“顿悟”事件与“非顿悟”事件共同激活的脑区（上）与只在“顿悟”事件中激活的脑区（下）。

与此不同，脑成像研究允许我们直接比较“顿悟”与“非顿悟”两种条件下的脑活动模式，通过比较“顿悟”与“非顿悟”所激活的神经网络，我们可以初步推测顿悟过程是否存在特殊之处：如果“顿悟”与“非顿悟”在大脑内所激活的神经网络重叠较大，那么顿悟过程是否存在特殊之处的可能性就较小，反之，如果这两者大脑内所激活的神经网络重叠较小，那么顿悟过程是否存在特殊之处的可能性就较大。我们的结果发现，“顿悟”与“非顿悟”的心理事件共同激活的神经网络主要包括扣带回、内侧前额叶、右侧前部颞中回、双侧的后部颞中回以及扣带回等。而只参与“顿悟”但不参与“非顿悟”的神经网络包括内侧前额叶和左侧的后部颞中回（图 1）。这表明：“顿悟”与“非顿

悟”的心理事件在大脑内所激活的神经网络重叠较大，在顿悟中被特异性地激活的脑区几乎仍然落在“顿悟”与“非顿悟”的共同神经网络之内。这说明顿悟思维与常规思维相比较，既有特殊之处，又有共同之处，而两种思维之间的共性明显大于特性。

2 参与顿悟的关键脑区

目前，已经被观察到的参与顿悟的大脑区域包括海马、前扣带回、背侧和腹侧前额叶，以及右侧前部的颞叶等，但对于这些大脑活动在顿悟中的认知功能，人们只能依赖相关资料来推测。比如，我们的研究和 Jung-Beeman 等人的研究都观察到了海马在顿悟中的活动^[2,5]，考虑到顿悟在理论上意味着

在问题的各个关键概念或算子之间建立新异的任务相关的联系，因此，我们推测海马的功能可能与“表征联结”或者“模式完成”有关。此外，海马也有可能与在空间定向任务中的作用一样，在思维的重新定向过程中发挥作用。

除海马之外，另一个在顿悟中被观察到的区域是右侧前部的颞叶，这个区域的活动在“词语法”实验设计中被稳定地激活，脑电图（EEG）分析显示在顿悟前0.3秒处有一个突然发生的高频 γ 波起源于上述位置，而Jung-Beeman等人认为，右侧前颞区负责在原本不相关的信息之间建立联系^[5]。

美国西北大学研究小组的Kounios等人在最近的一项实验中研究了顿悟的问题解决准备阶段的脑活动^[16]。在这项研究中，研究者所关注的问题是：大脑处于怎样的非特异性准备状态时顿悟会发生。fMRI与EEG分析都显示，在顿悟过程发生之前，负责认知控制的内侧额叶以及负责语义加工的颞叶有明显的活动。EEG显示，与非顿悟过程对应的准备状态，枕叶活动增强，对应于外部导向的视觉性注意的活动增强。这个结果提示可能存在一般性的准备机制调节问题解决策略。

现在研究最多的是额叶在顿悟中的功能。我们采用事件相关fMRI技术，研究了顿悟中思维定势打破的脑机制^[3]。实验材料改编自Auble等曾使用的“啊哈谜语”，采用答案提示的方式引发顿悟。“啊哈谜语”中有一类无法用常规方式理解，因而需要思维定势的打破，例如，“因为是一位专业人士替这位老人照的相，所以看不出来是谁”（X光片）；而另一类用常规的方式就能想到答案，如“因为白色的粉末放进咖啡里，所以咖啡变甜了”（白糖）。需要思维定势打破的“啊哈谜语”中通常含有一个关键概念，这个概念具有一个优势含义和一个弱势含义，如“照相”通常指照片，很难想到会是X光片。人们必须舍其优势含义而取弱势含义才能顿悟，因此这个过程不可避免地包含一种认知冲突。以往的大量研究证据显示，前扣带回（ACC）参与执行功能，在如Stroop任务与Flanker任务中起到冲突检测的作用，因此我们预期，在打破思维定势过程中很有可能需要ACC的参与。在思维定势打破过程中，不仅需要探测出认知冲突存在而且还需要解决这种冲突、在新、旧思路之间实现切换，这个过程类似于威斯康星卡片分类任务（WCST），因此，除ACC之外，思维定势打破也会有左侧前额皮层

（PFC）的参与。

脑成像实验结果验证了上述假设：包含思维定势打破的顿悟项目与不包含思维定势打破的一般项目相比，有明显的ACC与左侧PFC的激活^[3]。为进一步区分ACC与左侧PFC的功能，依据被试理解答案时的困难程度，在数据分析中把顿悟项目分为容易的和困难的，发现ACC在顿悟项目上比非顿悟项目上的活动多，而在容易的顿悟项目与困难的顿悟项目上没有差别；但左侧PFC在困难的顿悟项目上的活动多于容易的顿悟项目上的活动，在容易的顿悟项目的活动又多于一般项目上的活动。因此我们认为虽然ACC与左侧PFC都参与顿悟的心理定势打破过程，但两者的作用是分离的：ACC与冲突检测有关，对冲突有无进行反应，对项目难度没有反应；而左侧PFC与冲突的解决有关，对项目难度进行反应。实验还发现，如果将被试解决谜语的全部过程均等地分为早、中、后3个阶段，则相对于静息的参照状态而言，早、中、后3个阶段都伴随有明显的ACC的活动，但是，如果在中、后期阶段与早期阶段进行比较，则会发现早期阶段所激发的ACC的活动明显地要多于中、后期，这可能是因为：在谜语解决早期阶段，被试对谜语的构成规律所知甚少，所以呈现答案时需要ACC的早期参与来控制信息加工的流向。但随着被试对题目的逐渐熟悉，他们有意识或者无意识地发展出某种信息加工策略来控制局面，从而逐渐降低了对ACC的依赖。

在与上述研究平行的一项ERP研究中，我们发现^[4]，顿悟项目与一般项目相减后的ERP差异波在答案提示呈现后的250~500ms，表现为一个明显的N380成分；地形图和电流密度图显示，N380在额中央区活动最强；偶极子源定位分析结果为N380起源于扣带回。我们认为，这一负波相当于对正确反应监控的N2波或对错误检测的错误相关负波（ERN），由于顿悟过程从启动到完成约2000ms左右，因此ACC的活跃当发生于顿悟启动的早期阶段，在思维定势的打破过程中起到一个“早期预警系统”的作用。

最近，西南师范大学张庆林小组的邱江等人以谜底是单字的字谜任务作为实验材料，采用ERP技术，研究了认知冲突的脑机制^[13]。他们同样采用呈现答案的方式催化顿悟过程，并区分了三种项目：引发顿悟的项目（答案），非顿悟的项目以及不能理解的项目。研究结果显示，相对于非顿悟的项目，

顿悟的项目和不能理解的项目都在250~400间引发了一个更加负性的偏移(N320),偶极子源定位分析显示其起源于ACC,这说明ACC的活动实际上与被试是否能够最终理解答案没有关系,只要答案不是被试能预料到的,就会导致认知冲突并诱发ACC的活动。

而我们此前的一项研究也取得了与此一致的结果^[14]。实验采用谜语,其中的一组谜语为日本传统的“同音谜语”(homo-phone riddles),其特点是用同音字法构成谜语,比如“著名的相扑士去神社祈祷,但却只获得15战12胜的赛绩,为什么?”答案是“参拜”(日语中“参拜”与“三败”同音),因此被试知道其构成方式。而对于另外一组谜语,采用脑筋急转弯问题作为材料,由于这类问题千变万化,所以被试不知道其构成方式。结果表明,相对于静息水平而言,左侧在两类谜语解决中的参与程度相当,但是ACC在脑筋急转弯的解决中的活动却明显高于“同音谜语”的解决。这说明当问题解决者了解了顿悟性问题的结构并且发展出一般性的信息加工控制策略时,ACC的活动会降低。

Reverberi等近期做了一项有趣的研究^[17],发现前额皮层损伤的个体在顿悟性的问题解决任务中的成绩竟然好于正常控制组。这项研究基于Knoblich与Ohlsson的顿悟的表征转换理论,以及Frith关于背外侧前额皮层的“塑造反应空间”理论。Knoblich与Ohlsson认为,表征的改变可以通过放松限制来实现,而放松限制是指克服已有知识经验、思维方式等的限制。“塑造反应空间”理论假设前额叶尤其是背外侧前额在根据特定任务确定合适的反应过程中起重要作用,即外侧前额皮层在选择行为反应时具有一定偏好,会根据特定任务制定一系列反应。实验预期前额皮层的损伤的个体相对于正常个体在顿悟性的问题解决任务中有更好的成绩。采用Knoblich等人研究顿悟的火柴等式任务,如移动等式 $VII=VII+VII$ 中的一根火柴使等式成立,答案为 $VII=VII=VII$ 。研究结果支持研究者的假设,82%的前额皮层损伤的个体解决了困难的等式问题,而正常被试只有43%解决了困难的等式问题。外侧前额皮层在问题解决过程中负责选择合适的反应,因此限制了顿悟性的问题解决。这可能与前额皮层参与个体获得认知技能获得的学习过程有关。这一研究结果出人意料,但却又在情理之中,我们知道,人的知识经验往往是一把双刃剑,一方面,能够促

进快速而有效的问题解决,另一方面,知识经验可以形成思维定势,阻碍问题的顺利解决。

基于以上的证据,我们提出了一个有关思维定势改变的一般假设^[15],认为对于在人们的信息加工策略控制范围内的思维定势“转移”(如WCST)而言,有PFC的参与就够了,但对于在加工策略控制范围之外的思维定势的“打破”(即顿悟)而言,需要ACC与PFC的协同参与。但在时间进程上,ACC和内侧额叶的活动可能启动得较早,甚至可以发生在顿悟之前的酝酿阶段;PFC可能在顿悟发生的后期阶段才参与进来,它负责调动持续的信息加工资源用以稳定和放大瞬间即逝的灵感,但在顿悟发生之前和发生之初,PFC的作用可能会受到抑制,只有这样,人们才能顺利地从常规思维的束缚中解脱出来,放弃成见,获得顿悟。

3 总结与展望

目前的研究基本明确顿悟活动涉及前扣带回、额叶、颞叶、楔前叶以及海马等广泛脑区,并已获得了一个粗略的、有关顿悟的脑机制框架,认为前扣带回与额叶共同参与顿悟中思维定势的打破过程;右侧颞叶以及海马参与顿悟过程中新异联系的建立;而内侧额叶和颞叶也有可能参与顿悟发生前夕的准备过程。

顿悟是一个多个系统共同参与协同完成的高级复杂认知过程,对于顿悟的不同界定以及不同的研究方法无疑会得出不同的实验结果和结论,但这种多样化势必有助于我们探索顿悟的本质以及顿悟的大脑机制。未来的认知神经科学关于顿悟的研究可能会围绕下面几个方向进行:一是明确各个脑区在顿悟过程中的交互作用的动态过程;二是发展多种顿悟性的问题解决任务,从多个方面探讨顿悟过程(比如,张庆林研究小组最近尝试的“原型激活模式”,就有可能同时具备“谜语法”与“词语法”的优点);三是如何促进顿悟过程。德国学者Wagner等人去年在英国Nature杂志上发表论文,证明睡眠可以促进顿悟的发生,他们比较了晚上睡觉或者不睡觉的人顿悟地解决问题的能力,结果发现晚上有充分睡眠的人比没睡的人的顿悟能力要高。尽管Wagner等人根据我们在顿悟中观察到海马活动的研究结果^[18],推测是因为海马在人的睡梦中的持续活动酝酿了新思维的产生,虽然我认为Wagner等的实验程序并不能保证这个推测的有效性,但它至少说明保持清醒的头脑和敏锐的思维能

力, 会帮助人们摆脱思维僵局、获得顿悟。

当前, 加强自主创新, 建设创新型国家已经成为我们的国家目标, 因此, 研究创造性思维的认知与脑机制、探索如何在各个不同的领域促进创新与创造具有一定的现实意义。在创造性思维研究的各个课题中, 顿悟式问题解决占有独特而重要的地位。首先, 顿悟是创造性思维的最关键的心理和认知环节之一, 许多创新性的重大发明和发现都是通过顿悟过程而产生的; 其次, 与创造性思维领域的多数课题不同, 顿悟式问题解决是一个比较容易客观地量化的心理过程, 便于在实验室条件下被严格地检验; 第三, 顿悟的观念在东方传统的思维方式中早已存在(尽管中国禅宗的顿悟概念与现代心理科学的顿悟概念之间有许多区别, 但其相似之处也不言而喻), 据说, 在英国本土产生出的新的英文表达方式远比在那些讲英语但英语并非其自然产生的本土语言的国家更多, 这说明人们在对根植于本土文化的认知内容进行加工时, 会表现出更大的原创性。这也可能是顿悟吸引我们的原因之一。

参考文献

- [1] 艾森克 MW, 基恩 MT (高定国等译). 认知心理学(第四版). 上海: 华东师范大学出版社, 2003. 627
- [2] Luo J, Niki K. Function of hippocampus in "insight" of problem solving. *Hippocampus*, 2003, 13: 316-323
- [3] Luo J, Niki K, Phillips S. Neural correlates of the 'Aha! Reaction'. *NeuroReport*, 2004, 15: 2013-2017
- [4] Mai X Q, Luo J, Wu J H. "Aha!" Effects in a Guessing Riddle Task: An Event-Related Potential Study. *Human Brain Mapping*, 2004, 22: 261-270
- [5] Beeman M J, Bowden E M. Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PlosBiology*, 2004, 2: 0500-0510
- [6] Bowden E M, Jung-Beeman M, Fleck J, Kounios J. New approaches to demystifying insight. *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, 9: 322-328
- [7] Weisberg R W. Prolegomena to theories of insight in problem solving: A taxonomy of problems. In: Sternberg R J, Davidson J E eds. *The nature of insight*. London: MIT Press, 1995. 157-196
- [8] 傅小兰. 探讨顿悟的心理过程与大脑机制——评罗劲的《顿悟的大脑机制》, *心理学报*, 2004, 36: 234-237
- [9] Kershaw T C, Ohlsson S. Multiple causes of difficulty in insight: the case of the nine-dot problem. *Journal of Experimental Psychology : Learning , Memory and Cognition*, 2004, 30: 3-13
- [10] Schooler J W, Ohlsson S, Brooks K. Thoughts beyond words: when language overshadows insight. *Journal of Experimental psychology: General*, 1993, 122:166-183.
- [11] Metcalfe J. Feeling of knowing in memory and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1986, 12: 288-294
- [12] Knoblich G, Ohlsson S, Raney G E. An eye movement study of insight problem solving. *Memory and Cognition*, 2001, 29: 1000-1009
- [13] Qiu J, Li H, Luo YJ, et al. Brain mechanism of cognitive conflict in a guessing Chinese logograph task. *NeuroReport*, 2006, 17: 679-682
- [14] Luo J, Niki K, Philips S. The function of Anterior Cingulate Cortex (ACC) in the insightful solving of puzzles: the ACC is activated less when the structure of the puzzle is known. *Journal of Psychology in Chinese Societies*, 2004, 5: 195-213
- [15] 罗劲. 顿悟的大脑机制. *心理学报*, 2004, 36: 219-234
- [16] Kounios J, Frymiare J L, Bowden EM, et al. The prepared mind: Neural activity prior to problem presentation predicts subsequent solution by sudden insight. *Psychological Science*, in press.
- [17] Reverberi C, Toraldo A, Serena D. Better without (lateral) frontal cortex? Insight problems solved by frontal patients. *Brain*, 2005: 1-9
- [18] Wagner U, Gais S, Haider H, et al. Sleep inspires insight. *Nature*, 2004, 427: 352-355

From the Impasse to the Breakthrough: The Brain Basis for Insightful Problem Solving

Luo Jing, Zhang Xiuling

(Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: During 1913 to 1920, Kohler conducted his classic studies on insight. This discovery greatly challenged the dominating trial-and-error theory at that time. However, psychologist started to investigate the brain basis of insight only recently. This review discussed how to use neuroimaging methods to investigate the neural correlates of insight, the brain areas involved in insight were also considered.

Key words: Insight, problem solving, neuroimaging.