

- tribution and neural generators. *The Journal of Neuroscience*, 1995, 15:1080 ~ 1089
- 71 Smith M E, Stapleton J M, Halgren E. Human medial temporal lobe potentials evoked in memory and language tasks. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1986, 63:145 ~ 159
- 72 Poldrack R A, Prabhakaran V, Seger C A, et al. Striatal activation during acquisition of a cognitive skill. *Neuropsychology*, 1999, 13: 564 ~ 574
- 73 Kounios J, Beeman M J, Liu S, Frymiare J, Angelakis E, Stathopoulou S. The Spark of Insight: Electrophysiological Correlates of the "AHA!" Experience in Problem Solving. Poster presented at Cognitive Neuroscience Society Meeting in April 2003
- 74 Beeman M J, Bowden E M. The right hemisphere maintains solution - related activation for yet - to - be solved insight problems. *Memory & Cognition*, 2000, 28, 1231 ~ 1241
- 75 Bowden E M, Beeman M J. Getting the right idea: Right hemisphere contributions to solving insight problems. *Psychological Science*, 1998, 9: 435 ~ 440
- 76 Bowden E M. The effect of reportable and unreportable hints on anagram solution and the aha! experience. *Consciousness and Cognition*, 1997, 6: 545 ~ 573
- 77 Louie K, Wilson M A. Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron*, 2001, 29: 145 ~ 156
- 78 Niki K, Luo J. An fMRI study on the time - limited role of the medial temporal lobe in long - term topographical autobiographic memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002, 14: 500 ~ 507
- 79 Cassirer E. *Language and Myth*. New York, NY: Dover Publications Inc, 1946

## NEURAL CORRELATES OF INSIGHT

Luo Jing

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

### Abstract

Since the work of Wolfgang Kohler, the process of insight in problem solving has been the subject of considerable investigation. Yet, the neural correlates of insight remains unknown. As the sudden and unexpected change of one's point of view that illuminates a short and elegant solution path to a particular problem, insight means forming of novel, efficient associations among the old concepts and breaking of the unwarranted mental set. Subjects were imaged by functional magnetic resonance imaging (fMRI) when they were solving the riddles and puzzles. Results showed activities in frontal, temporal, and parietal areas to be associated with the process of insight. These results, together with other evidences, suggested that (1) hippocampus mediated the process of forming of novel, efficient associations in insight; (2) a spatial neural network including bilateral middle temporal/occipital gyrus, left middle frontal gyrus, and left parahippocampal gyrus mediated the representational change in insight; and (3) anterior cingulate cortex and left lateral prefrontal cortex mediated the breaking of unwarranted mental set in insight.

**Key words** insight, event-related fMRI, problem solving.

## 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》

## MENTAL PROCESS AND BRAIN MECHANISM OF INSIGHT: COMMENTS ON LUO'S NEURAL CORRELATES OF INSIGHT

傅小兰

(中国科学院心理研究所认知心理学研究室,北京 100101)

罗劲的《顿悟的大脑机制》一文,总结了他利用脑成像技术与谜语材料进行的一系列实验研究,并结合已有的文献资

料与他本人的理论思考,为我们绘制出顿悟的大脑机制框架的首幅草图:顿悟过程是由作为早期预警系统的扣带回

(anterior cingulate gyrus,简称 ACC)所发动,由负责新异有效联系(任务相关联系)形成的海马(hippocampus)、负责思维定势转换和语言加工的左腹侧额叶(left ventrolateral prefrontal cortex,简称 LVPPFC)和负责思考的背景或参照框架切换的视觉空间信息加工网络(spatial neural network)协同完成的。视觉空间信息加工网络包括双侧的后部颞中回(布罗德曼 39 区)、枕中回(布罗德曼 19 区)、楔前叶(布罗德曼 19 区)和左侧海马旁回。

罗劭的工作无疑是开创性的。他以谜语作为材料,通过向被试呈现标准答案来“催化”顿悟过程,利用功能性磁共振成像(fMRI)技术精确记录了人类的大脑在“恍然大悟”的一瞬间的活动状况,并令人信服地建构出该活动的脑机制框架。他不仅在一定程度上说明了参与新异联系形成与问题表征转换的脑机制,而且明确区分了思维定势的两种改变——转移与打破,并首次将顿悟与“卡西尔过程”联系起来,从而将顿悟置于一个更为广泛的社会历史背景之下,使顿悟有可能延伸到概念形成甚至宗教心理学的领域。

但是,我认为,罗劭的《顿悟的大脑机制》一文中存在以下两个问题,值得商榷。

## 1 实验任务:顿悟还是领悟?

众所周知,格式塔心理学对思维过程进行了卓有成效的研究。Kohler 对顿悟的研究<sup>[1]</sup>、Wertheimer 对创造性思维的分析<sup>[2]</sup>和 Duncker 对问题解决的研究<sup>[3]</sup>,在思维研究领域产生了深远影响。Kohler 的实验由简单到复杂可分为六大类,即迂回实验,利用现成工具的实验,制造工具的实验,建筑实验,利用中介物的迂回实验,格式塔操纵实验。所有这些实验都是依据同样的标准设计的:在实验情境中,直接通向目的物的道路已被堵塞,可是有一条迂回的道路通向目的物,并使得参加实验的动物有可能全面地看清这一情境,动物的智力水平可以通过它是否能采取迂回的道路或其他间接的方法解决问题予以判定<sup>[1]</sup>。而在研究人类被试顿悟现象或创造性思维的实验中,所使用的经典问题主要包括六火柴问题,蜡烛问题,双绳问题,九点问题等。

顿悟指的是“这样一些问题的解决,看来是突然到来的,俨如包含着能达到预期目的整个错综复杂的手段在内的一个新‘完形’,在动物的意识中突然出现;它确实好像随着‘顿悟一闪’(flash of insight)而引起的适宜的动作”<sup>[4]</sup>。换句话说,顿悟主要是指通过观察,对情境的全局或对达到目标途径的提示有所了解,从而在主体内部确立起相应的目标和手段之间的关系完形的过程<sup>[5]</sup>。顿悟现象主要有六个特点:(1)问题解决前常有一个困惑或沉静的时期,表现为迟疑不决,有长时间的停顿;(2)从问题解决前到问题解决之间的过渡不是一种渐变的过程,而是一种突发性的质变过程;(3)在问题解决阶段,行为操作是一个顺利的不间断的过程,形成一个连续的完整体,很少有错误的行为;(4)顿悟依赖于情境,当答案的基本部分与当前情境的关系较易觉察时,才容易出现顿悟;(5)顿悟获得的问题解决方法能在记忆中保持较长的时间;(6)在一种情境中产生的顿悟可以迁移到新的

场合。

罗劭创造性地运用传统的谜语(例如,“你杀死了她,但却得流你自己的血”——谜底:蚊子)、脑筋急转弯问题(例如,“有一条毛毛虫想过河,但河宽水深,又没有桥和渡船,也没有谁能帮助它,请问这条毛毛虫如何渡河?”——答案:变成蝴蝶飞过河)、“啊哈谜语”(例如,“因为是一位专业人士替这位老人照的相,所以看不出照的是谁”意指 X 光片)等材料研究顿悟过程的大脑机制。在实验过程中,他首先给被试呈现问题,然后给被试呈现问题的正确答案,并用脑成像方法记录被试“恍然大悟”过程中的大脑活动情况。

显然,罗劭的实验任务与经典的顿悟任务有所不同:首先,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的问题的正确答案;其次,被试无需“看清”实验情境中各部分之间的关系,而只需理解问题陈述与问题答案间的关系;第三,被试无需进行任何外显的行为操作,而只需完成内部的心理操作(主要是言语理解加工)。因此,在我看来,罗劭通过向被试呈现谜语的标准答案所引发的“顿悟”,并不等同于被试主动地知觉并理解情境中各部分间的关系或在外部线索提示下生成问题的答案所产生的“顿悟”。问题的答案由他人直接呈现在眼前并被自己所理解,这可能并不是严格意义上的顿悟过程,而是一种领悟过程。如果领悟过程中伴随着一种情感释放的“啊哈体验”(“aha” experience),它也就是我们在日常阅读、学习和工作中都能体验到的“恍然大悟”。我认为,罗劭的研究主要揭示的是这种“领悟”过程的大脑机制。

但是,罗劭把握住“从心理过程上看,顿悟是一个瞬间实现的、问题解决视角的‘新旧交替’过程”,其研究和思考有力地说明了与新异联系形成和问题表征转换有关的脑机制,这为我们理解顿悟现象的大脑机制奠定了坚实的基础。

## 2 顿悟的心理机制:表征变化还是进程监控?

罗劭在文中提出:“但是五十年代认知科学兴起之后,有关顿悟的研究有近数十年的沉寂,其原因可能与以口语报告法以及‘手段-目的’分析为代表的问题解决实验研究范式的兴起有关。手段-目的分析注重问题是如何在头脑中被解决的,而非人们的头脑如何表征问题,因此,手段-目的分析更为关注一个逐渐趋近目标的‘渐变’过程而非‘突变’的顿悟过程。”和“先前的认知心理学实验表明:顿悟问题的解决是在被试的认知加工策略控制范围之外发生的。”对此,我持有不同看法。一方面,认知科学不仅极为重视表征,而且很重视研究顿悟的认知机制;另一方面,从手段-目的分析角度探讨顿悟的元认知机制的研究正方兴未艾。

心智的计算-表征理解(computational-representational understanding of mind,简称 CRUM)在认知科学研究中一直居主导地位。CRUM 的中心假设是:对思维最恰当的理解是将其视为心智中的表征结构以及在这些结构上进行操作的计算程序<sup>[6]</sup>。CRUM 强调“心理表征”(mental representation)和“心理程序”(mental procedure)。信息加工心理学与认知科学的开创者 Simon 不仅倡导了以口语报告法以及“手段-目

的”分析为代表的问题解决研究范式,更强调问题表征的重要性,提出了问题空间(problem space)的概念<sup>[7]</sup>,而且也研究了顿悟的认知机制。其实,在罗劭论文中“3.2 顿悟中问题表征方式的转换与脑内视觉空间信息加工网络”第一段第一行,他就引用了 Simon 的观点。

Simon 指出,有时按常规方式表征的问题难以求解,但若换一个角度来表征同一个问题,问题就迎刃而解了<sup>[8]</sup>。Wertheimer 也指出,问题解决的典型特征即在于生成合理的问题表征,即问题被恰当地组织起来,而一个适宜的表征应该满足三个条件:表征与问题的真实结构相对应;表征中的各个问题成分被适当的结合在一起;表征结合了问题解决者的其他知识<sup>[9]</sup>。Kaplan 和 Simon 认为,以往研究中的顿悟问题都涉及到问题表征的变化,顿悟与问题表征以及问题空间都有着密切的联系<sup>[10]</sup>。人在解决问题的时候,往往根据题目本身所提示的方式来表征问题,并在相应的问题空间中进行搜索。如果在问题空间中长时间找不到办法使问题得以解决,就需要寻找新的问题表征方式。Kaplan 和 Simon 的研究结果表明,问题解决过程中顿悟现象的出现是由于人们找到了适宜的问题表征方式;而人们只有获得指引搜索和使搜索高度有效的强约束条件才能发现适宜的表征;问题本身的特征和相关领域的知识是强约束条件的主要来源,它们能引导人们生成特殊有效的问题表征<sup>[10]</sup>。Knoblich 等人进一步提出,在表征变化过程中可能有两种认知机制发挥着重要作用:约束松懈(constraint relaxation)和组块分解(chunk decomposition),前者主要指克服已有知识经验、思维方式等的限制,后者主要指把刺激组块分解成更小的单元,以便于发现新的关系和联结,形成新的表征<sup>[11]</sup>。

MacGregor 等人则试图用手段-目的分析法来阐释顿悟的认知过程,提出了绩效的计算模型(the computational model of performance),强调了进程监控(progress monitoring)的作用<sup>[12-14]</sup>。MacGregor 等人认为,影响顿悟问题解决的因素主要包括各种约束和思维定势(constraints)以及个体试图寻找其他解决方法的驱动力(dynamic, or driving force)。个体会依据将要达到的问题目标状态,确定某种进程标准(criterion of progress)以监控每一个局部行为(手段)的有效性,一旦个体认识到没有符合标准的行为,即出现标准失败(criterion failure)时,就会产生一种内在的驱动力,促使他放宽约束,寻找其他的解决方法。基于 Ormerod 等人的观点,在解决九点问题时,个体主要使用以下两种认知加工策略:(1)直线最优策略(maximization heuristics),即让每一条直线划掉尽可能多的点,实际上也就是使用局部最优法(爬山法);(2)进程监控策略(progress monitoring heuristics),个体会在问题解决的过程中,预期所采用的一系列步骤是否有助于达成最终的目标状态,同时根据预设标准来衡量预期步骤的有效性;一旦所能预期到的步骤总是与预设标准相违背的时候,个体就会产生放宽约束的冲动,寻找新的解题途径,试图从错误的问题空间进入正确的问题空间。使用这两种策略是个体正确解决九点问题的关键,它们的作用胜过知觉提示

或线条提示的作用。MacGregor 等人认为,通过正确使用启发式策略和元认知策略,个体可以有效地解决顿悟问题<sup>[12-14]</sup>。

采用心理学实验和计算机模拟方法对问题表征与问题解决策略之间关系进行研究,结果表明,对问题的不同表征反映了被试对问题结构达到的不同认识水平,并决定了被试使用的问题解决策略,而使用不同策略解决问题的基本认知操作过程可能基本相同<sup>[15,16]</sup>。我认为,表征(representation)、加工(process)和控制(control)是认知活动的三个基本要素,也是研究顿悟心理机制的核心概念。

综上所述,顿悟的心理机制和大脑机制都有待进一步研究。我相信,顿悟的这两种机制研究的整合将有助于早日揭示顿悟的本质,而罗劭已在这方面做了非常有意义的尝试,加深了我们对顿悟机制的认识,必将产生深远的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Kohler W. The mentality of apes. London: Routledge & Kegan Paul, 1925
- 2 Wertheimer M. Productive thinking. New York: Harper, 1959
- 3 Duncker K. On problem solving. Psychological Monographs, 1945, 58: 1 ~ 113
- 4 Schultz D. A history of Modern Psychology, Beijing: People's Education Press, 1981, 306  
(舒尔兹. 现代心理学史,人民教育出版社,1981,306)
- 5 Zhang Q L. Experimental analysis of the process of insight. Journal of Psychology, 1989, 4(2): 23 ~ 28  
(张庆林. 顿悟心理机制的实验分析. 心理学杂志, 1989, 4(2): 23 ~ 28)
- 6 Thagard P. Mind: Introduction to Cognitive Science, Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1999, 8  
(萨伽德. 认知科学导论, 中国科学技术大学出版社, 1999, 8)
- 7 Newell A, Simon H A. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, 1972
- 8 Simon H A. Some new developments in cognitive science. Acta Psychologica Sinica, 1991, 23(2): 153 ~ 157  
(Simon H A. 认知科学的一些最新进展. 心理学报, 1991, 23(2): 153 ~ 157)
- 9 Wertheimer, M. A Gestalt perspective on computer simulations of cognitive processes. Computers in Human Behavior, 1985, (1): 19 ~ 33
- 10 Kaplan C A, Simon H A. In search of insight. Cognitive Psychology, 1990, 22: 374 ~ 419
- 11 Knoblich G, Ohlsson S, Haider H, Rhenius D. Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 1999, 25: 1534 ~ 1556
- 12 MacGregor J N, Ormerod T C, Chronicle E P. Information processing and insight: A process model of performance on the nine - dot problem. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 2001, 27(1): 176 ~ 201
- 13 Chronicle E P, Ormerod T C, MacGregor J N. When insight just

- won't come; The failure of visual cues in the nine-dot problem. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2001, 54A(3): 903~919
- 14 Ormerod T C, MacGregor J N, Chronicle E. P. Dynamics and constraints in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 2002, 28(4): 791~799
- 15 Fu X L. Problem representation and solution strategies in Solitaire Chess. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1995, 7(3): 261~281
- 16 Fu X L. To explore the mystery of problem-solving: Representation and strategies. *Advance of Chinese Psychology*. Chinese Psychological Society. Beijing: People Education Press, 2001. 37~42  
(傅小兰. 探索问题解决的奥秘: 表征与策略. 见: 中国心理学会编. 当代中国心理学. 人民教育出版社, 2001. 37~42)

## 附: 罗劲的回应

### 1 是顿悟还是领悟?

由于目前的脑成像技术的局限(比如对于事件数量或者数据点的较高要求),使得顿悟的行为实验范式难以被直接移植到脑成像实验中。因此,我们采用谜语作为实验材料,并通过呈现标准答案来催化顿悟过程。傅小兰博士认为,这样的做法可能引发的是领悟而不是顿悟。这一讨论涉及顿悟的定义。通过对格式塔心理学家最初的经典研究进行分析,Weisberg指出:顿悟可以被界定为一种通过“重构”(restructuring)过程才能解决的问题<sup>[1]</sup>。换言之,“重构”过程被认为是顿悟所包含的最基本的要素(相同的观点另见[2])。据此,Weisberg认为,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(a)最终的正确答案与最初的解答不同,(b)最终的正确答案是通过一个“重构”过程而获得的,(c)这个“重构”过程是唯一的获得正确答案的途径。采用谜语材料以及呈现答案的方法,可以满足上述的要求。比如,对于72.9%的“啊哈谜语”,被试在看到标准答案之后,将他们(在只看谜面时)不能解决问题的主要原因归结为“想到另外一个方面去了”,这表明“重构”过程确实被实验任务所诱发。而对于大部分的“脑筋急转弯”问题,这种“重构”过程就更加明显,事实上,被试对大部分“脑筋急转弯”问题都能想出一个或几个不那么合理答案(比如,对于“有一条毛毛虫想过河,但河宽水深,又没有桥和渡船,也没有谁能帮助它,请问这条毛毛虫如何渡河?”,回答说“毛毛虫在它自己的想象中过了河”)。因此,标准答案的呈现的确促发了“重构”过程。

对于“给被试呈现答案”与“被试自己找到答案”的差别问题。首先,在看到答案以前,被试被要求先尝试自行解决问题,并且被允许有充分的思考时间,在大部分的实验条件下,我们是在当被试认为自己找不到答案而自动放弃或者已经找到一个自觉满意(但其实不合理)的答案的情况下,才给被试呈现答案的,因此,问题情境中各部分之间的关系是被充分思考的,并不存在“思考不充分”的问题。其次,“给被

试呈现答案”与“被试自己找到答案”(即“自发的顿悟”)可能会在以下的三个方面有差别,一是在自发的顿悟的先期酝酿(incubation)过程会比较充分,二是自发的顿悟所带来的自我满足感会比较强,三是自发的顿悟过程初期可能会包含较多的“犹豫”成份(——人们在想到一个新办法时可能会将信将疑,这种情况与他们事先知道“这就是正确答案。”有所不同)。但无论如何,“给被试呈现答案”与“被试自己找到答案”一样,都包含对问题中诸要素的“重构”过程。因此,对于傅小兰博士的“是顿悟还是领悟?”的问题,我的回答是:“是领悟,但也是顿悟”。

傅小兰博士的评价无疑指出了进一步的改进实验设计的必要,比如考虑采用间接提示而非直接答案的方法促发顿悟过程。

### 2 顿悟研究与认知科学的关系

傅小兰博士不同意我在文中认为50年代兴起的认知科学及其“手段-目的”分析使得顿悟研究在很长一个时期内被忽略,指出,认知科学亦注重视顿悟的研究,并且“从手段-目的分析角度探讨顿悟的元认知机制的研究正方兴未艾”。我在文中所述及的,主要是20世纪60到70年代的情况,在这一时期,由于传统的格式塔理论与主流的认知科学的信息加工理论脱节,因而有关顿悟的研究有一段时间相对比较沉寂。这一局面直到1984年Stellan Ohlsson发表了两篇从信息加工的角度探讨顿悟的重要论文才得以改观<sup>[2,3]</sup>。接着,在1986~1987年,Janet Metcalfe发表了三篇其后被广泛引用的研究报告<sup>[4~6]</sup>,将FOK(feeling-of-knowing)的元记忆实验范式引入顿悟研究。因此,从信息加工的角度探讨顿悟问题是80年代以后的事情。傅小兰博士评价准确地概述了80年代到现在,用认知科学的方法探讨顿悟的情况,而这一点在我的论文中并未讨论,因此是一个良好的补充。

## 参 考 文 献

- 1 Weisberg R W. Prolegomena to theories of insight in problem solving: A taxonomy of problems. In: R J Sternberg, J E Davidson eds. *The Nature of Insight*, London: MIT Press, 1995, 157~196
- 2 Ohlsson S. Restructuring revisited: I Summary and critique of the Gestalt theory of problem solving. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1984, 25: 65~78
- 3 Ohlsson S. Restructuring revisited: II An information processing theory of restructuring and insight. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1984, 25: 117~129
- 4 Metcalfe J. Feeling of knowing in memory and problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1986, 12: 288~294
- 5 Metcalfe J. Premonitions of insight predict impending error. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1986, 12: 623~634
- 6 Metcalfe J, Wiebe D. Intuition in insight and noninsight problem solving. *Memory & Cognition*, 1987, 15: 238~246