



论文

顿悟类问题解决中思维僵局的动态时间特性

沈汪兵^①, 刘昌^{①*}, 袁媛^①, 张小将^①, 罗劲^{②③*}^① 南京师范大学心理学院暨认知神经科学实验室, 南京 210097;^② 首都师范大学教育学院暨北京市学习与认知重点实验室, 北京 100183;^③ 中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101

* 联系人, E-mail: cglew@163.com; luoj@psych.ac.cn

收稿日期: 2012-11-14; 接受日期: 2012-12-25

国家重点基础研究发展计划(批准号: 2010CB833904), 江苏省普通高校研究生科研创新计划(批准号: CXLX12_0353 和 CXLX12_0351)和江苏省第四期“333 高层次人才培养工程”资助项目

摘要 顿悟问题的核心特征在于思维僵局, 即解题者主观上不知如何推进解题进程的心理状态. 尽管对顿悟问题解决的神经机制已有较多研究, 却很少有研究对顿悟问题解决过程中思维僵局的时间进程进行探讨. 本研究运用高时间分辨率脑事件相关电位技术(ERP)对顿悟问题解决过程中思维僵局的动态时间进程进行了考察, 实验记录了有思维僵局和无思维僵局问题的锁时事件相关电位, 其中, 问题类型是根据被试的有无遭遇思维僵局的主观反应确定的. 研究显示, 早期的散布在额中央区的 P2 成分主要与思维僵局前意识性的元认知觉察有关, P3a 主要与思维僵局所引发的注意聚焦有关. 这些结果表明, 思维僵局虽在晚期才完全形成, 但在一个相对较早的阶段就已经启动, 此外元认知在顿悟问题解决过程中思维僵局的监控方面扮演重要作用.

关键词顿悟问题解决
元认知
思维僵局
事件相关电位
P200

顿悟是心理学中一个备受关注的研究领域^[1~4]. 顿悟现象十分普遍, 但目前对顿悟的探讨主要是从问题解决视角切入的. 问题解决过程中的顿悟主要出现在解题者不知如何解决问题, 且随后没有任何前奏地突然顺利解决问题的过程中. 人们在突然知晓如何获得问题解决方案之前往往会遭遇思维僵局^[5]. 思维僵局往往发生在问题解答者不知道如何解决问题, 仿佛“卡”或“粘”在了没有任何成功前景的时点或死胡同里^[6]. 换言之, 问题解决过程中解题者经过反复尝试与探索的失败后, 主观上无法推进解题进程或感觉解题进程停滞不前的心理过程和认知状态. 总而言之, 思维僵局是顿悟中的一个基本且十分重

要但又较少被人们研究的一个心理过程和要素.

思维僵局通常被视为是人们经过反复的无效尝试和探索失败后出现在晚期阶段的一种心理活动^[7]. 依据这种通用观点, 思维僵局可以被界定为问题解决者感觉(至少是当前可见的)所有可能的问题解决方式和办法均已尝试过但仍不知如何成功解题的心理状态^[8]. 然而, 日渐增多的有关顿悟时间进程的研究显示, 人们往往在早期阶段而不是在上述晚期阶段才克服或者突破思维困境. Zhao 等人^[9]发现在测试刺激出现后的 500~700 ms 时间段出现了一个与思维定势打破有关的中早期正成分. 其他多同类研究也普遍观察到, 顿悟问题解决或者顿悟解决方案的获

引用格式: 沈汪兵, 刘昌, 袁媛, 等. 顿悟类问题解决中思维僵局的动态时间特性. 中国科学: 生命科学, 2013, 43: 254~262, 10.1360/05SCLS-2012-0077.R3
英文版见: Shen W B, Liu C, Yuan Y, et al. Temporal dynamics of mental impasses underlying insight-like problem solving. Sci China Life Sci, 2013, in press, doi: 10.1007/s11427-013-4454-8

得较之非顿悟问题解决或非顿悟解决方案通常会在出现一个与思维定势转移或思维僵局打破有关的早期脑电成分, 且该成分主要出现在刺激呈现后的 200~800 ms 内^[1,10,11]. 先前研究显示, 思维僵局或思维定势的产生到思维僵局的突破或定势转移往往存在一个时间过程, 且这个持续的时间间隔少则几百或几千毫秒, 多则可能达到数天乃至数月^[12]. 这些研究证据表明, 思维僵局可能会出现在一个较早阶段, 甚至在早期知觉阶段就已经发生.

有关顿悟问题解决的认知理论也显示, 思维僵局可能出现在早期阶段. 功能固着(functional fixedness)理论主张, 思维僵局是人们面临一个需要采取一种新颖和不熟悉的方式解决一个涉及日常熟悉客体或其用途的问题时, 解题者自动提取该客体常见的典型特征或常规用途所致^[12~14]. 一般地, 自动提取加工多发生在早期阶段. 于是, 依据该理论, 思维僵局也在很早就出现了. 表征变换(representation change)理论十分重视问题表征以及表征重构在问题解决过程中的作用. 该理论认为, 问题解决者之所以遭遇思维僵局主要是因为解题者刚看到问题时所形成的问题表征不合适——或是被误导^[13]或是表征不全面^[5]. 经典格式塔心理学理论更加明确地指出, 顿悟问题中的思维僵局可能在早期的知觉阶段就已出现. 该理论认为, 思维源于处于不平衡状态或者紧张的知觉场的重新组织. 在问题尚未得到解决时, 知觉场处于一种紧张或不平衡状态, 一旦知觉场被重新组织, 并达到了一种均衡、和谐与平衡的状态, 那么问题答案就会自然涌入意识^[12], 问题即迎刃而解了. 总之, 上述研究与理论均表明, 思维僵局很可能出现在早期阶段.

多种取向的研究^[7,12,15,16]已经表明, 思维僵局的形成会诱发更多的注意聚焦(attentional fixation). 当解题者遭遇思维僵局后, 他们根本不知道下一步该做什么, 处于新思维的停滞或创造性研究中经常提及的酝酿状态, 于是解题者只能毫无任何(新)想法或办法地“呆呆”盯着那些使他们陷入僵局的问题特征, 或者重复这些特征相关的运算以核对是否是因为运算失误而使自己陷入困境^[12]. 有关晚期正电位的研究显示, 晚期正成分, 尤其是 P3 能够很好地反映上述注视或凝视过程^[17]. 一般情况下, 问题解决尤其是顿悟问题解决一直被视为高级认知的研究范畴, 于是认为, 它更多有赖于有意识的推理和加工过程. 然而, 最近 20 年的研究显示, 顿悟问题解决也受无意识

加工的影响, 甚至在没有任何意识觉察的情况下也能发生^[18]. 更重要的是, 近期有许多研究揭示, 诸多只诱发无意识加工的知觉特征(例如, 问题内容或问题题面所含刺激的熟悉性^[13,19])也在顿悟问题解决过程扮演重要作用. 这种作用突出体现在决定思维僵局出现的时间点方面. 日常生活中, 人们经常通过(经常是无意识或直觉地)快速浏览题目并依据题面的某些知觉特征迅速地做出成功解题概率的评估过程. 上述心理过程在某些重大考试, 尤其是时间有限情况下表现得更为明显(类似的, 注意资源有限情况下也同样会出现). 这类认知过程在电生理层面主要表现为 P2(一种刺激后 200 ms 左右处于峰顶的脑电正成分)有关脑电成分的出现. 该观点已得到诸多脑电研究的支持. Paynter 等人^[18,20]在一项 ERP 研究中观察到, 被试能够准确估计(通过演算)知晓问题答案是否比直接提取答案过程更快的认知判断, 且该认知过程主要以刺激后 180~280 ms 出现在前额区的早期 P2 成分为神经标记. Ryals 等人^[21]则进一步发现, 始于 125 ms 左右的早期脑电正成分与词汇辨别成功与否的认知过程有关. 同时, 他们也认为, 所观察到的早期脑电成分能够作为词汇成功辨别与否的前意识(preconscious)神经标记. 综上所述, 可能思维僵局的部分过程在早期阶段就已启动.

截至目前, 仅有一项研究^[22]为上述论断提供了一些初步的实证资料. 在该研究中, 借助高密度的脑事件相关电位技术来捕捉标准化的三字字谜任务中思维僵局的脑活动标记. 研究显示, 有思维僵局问题的主动求解过程较之无思维僵局问题的主动求解过程分别在谜题呈现后的 120~210 ms(P170)和 620~800 ms(晚期 LPP)时段内诱发了更大波幅的脑电正成分. 该研究认为, 所检测到的早期脑电成分 P170 主要与人们在知觉阶段直觉地感知思维僵局过程有关, 而晚期 LPP 则主要表征思维僵局的有意识重评与反思过程^[22]. 尽管该项脑电研究已经初步探讨了思维僵局的时间进程, 但也存在一些含糊之处. 首先, 尽管直觉以至于前意识觉察在顿悟问题解决过程中扮演重要作用, 但其研究所观察到脑电成分所表征的认知过程的性质有待进一步阐明, 具体而言, 前期研究所观察到的早期 ERP 成分所表征的潜在认知过程反映的是否是元认知活动不够清晰, 有待进一步阐述; 其次, 前期研究并没有提供任何有关问题难度和思维僵局准确关系的数据或信息; 最后, 晚正成分所反

映的认知过程尚需进一步的实证分析和考察。因为以往有关情绪调节的研究显示, 晚正成分主要表征的是情绪效应的认知重评^[23,24]。就此而言, 晚正成分所表征的认知过程不够清楚, 需要进一步明确晚正成分究竟是滞后的 P3(lagged P3), 还是与认知重评有关的 LPP。综上所述, 研究借助源分析技术进一步重新分析了先前数据并提供了一些能够揭示思维僵局和难度关系的信息, 以便更准确地阐明顿悟类问题解决过程中思维僵局的动态时间特性。

1 研究方法

1.1 被试

13 名(8 女, 年龄介于 23~28 岁)大学生被试, 均为右利手, 无精神障碍, 视力和矫正视力正常。参加实验前, 均已告知实验目的, 且获得知情同意。

1.2 刺激

与以往研究类似^[11,25], 本研究组最近的两项研究所用刺激均为汉语字谜, 选用了 130 条在先前研究中已标准化的三字字谜谜面和单字谜底为实验刺激^[22,26]。这些谜语材料是由 3 位专家在熟悉性、视觉复杂性和声母分布 3 个维度评选出来, 在 103 名未参加该测验的大学生被试(21 男, 年龄为 (23.34 ± 1.94) 岁)对其进行 5 点难度(1 表示非常简单, 5 表示非常困难)评定基础上形成的。约有一半是低难度的(平均分介于 2.2~3.4, 例如, “十五日”是“半”个“月”, 故其答案为“胖”), 另一半则是高难度的(平均分介于 1.4~1.7, 例如, “黄梅天”的意思则是“雨季”, 即“雨”水充足的时“令”, 故其谜底为“零”), 均为高频字。

1.3 程序

被试坐在电磁屏蔽的隔音室内距离刺激呈现屏 70 cm 的位置, 眼睛位置与显示屏中央位置齐平。整个实验包含两部分。正式实验前, 被试需接受 10 个试次(其中包含两个谜底和谜面错误匹配试次)的练习, 正式实验包含 110 个正确匹配谜题试次和 10 个错误匹配的填充试次。正式实验部分的 120 个试次被分为 3 个区组, 每个区组包含 40 个刺激, 被试每完成一个区组便可自行确定休息时间, 休息好自行按键开始后续任务。采用错误匹配的填充试次主要是为了避免反应定势, 且填充试次未纳入正式分析。所有

刺激(对)均随机呈现。

实验中, 首先在(白色)屏幕中央向被试呈现一个黑色的加号注视点, “+”注视点呈现的时间持续 500 ms, 紧接着注视点消失并出现一个持续 300 ms 的缓冲白屏。然后, 谜面出现在屏幕上, 并持续长达 7000 ms。紧接着再次出现一个 300 ms 的缓冲白屏, 随后谜底呈现在屏幕中央 4000 ms。在谜底呈现过程中, 被试需要以按键形式进行反应。若被试在呈现谜底之前已经想出了答案且与所呈现的答案一致, 那么需按“1”键; 若在呈现谜底之前未想出答案且无法将谜面和谜底联系起来则按“3”键; 若在谜底呈现前他已经想出了一错误答案(谜底呈现后所给谜底不同)或之前没有想出任何答案但呈现谜底后能将谜底和谜面联系起来, 此时则需按“2”键。据此, 依据被试的主观反应确定了问题的类型。其中, 所有“1”反应谜题均属于无僵局难题, “3”反应谜题均属于有僵局难题。“2”反应难题由于可能涉及多种认知过程, 且未明确区分有无思维僵局, 故未纳入正式分析。

1.4 ERP 记录与分析

被试坐在一个光线良好的屏蔽室内, 前额电极接地。脑电数据采集仪器为 Neuroscan 公司的 ERP 工作站, 按国际 10-20 系统扩展的 64 导银/氯化银电极帽记录 EEG。实验记录时使用左侧乳突为参考电极, 同时记录右侧乳突的电位活动, 离线处理时将所有电极的数据与双侧乳突的平均值进行再参考。垂直眼电(VEOG)由位于左眼上下眶的电极记录, 水平眼电(HEOG)由双眼外侧 1 cm 处安置的电极记录。各电极处的头皮电阻均在 5 k Ω 以下。滤波带宽为 0.05~100 Hz, 连续采样频率为 500 Hz/导。完成连续 EEG 记录后离线处理数据, 采用 30 Hz 低通滤波, 自动校正 VEOG 和 HEOG, 运动伪迹和其他伪迹所引起的脑电电压超过 $\pm 90 \mu V$ 的脑电事件被自动剔除。

根据预实验结果和先前初步分析^[22], 研究所用脑电分析时程均为谜面呈现后的 -100~800 ms, 以 -100~0 ms 为基线。参照以往同类研究中“前中后”和“左中右”的电极选取规则, 最终选取了前部 F3, Fz 和 F4, 中部 C3, Cz 和 C4, 顶部 P3, Pz 和 P4, 以及枕部 O1, Oz 和 O2 等 12 个电极点进行运算。采用 2(谜题类型: 无僵局、有僵局) $\times$ 4(电极位置: 额区、中央区、顶区、枕区) $\times$ 3(半球: 左外侧、内侧、右外侧)三因素的重复测量方差分析对感兴趣的脑电成分的

平均波幅值进行统计分析. 方差分析的 F 和 P 值皆经 Greenhouse-Geisser 法校正.

1.5 溯源分析

采用偶极子源模型筛选独立成分. EEGLAB 软件工具包中的 DIPFIT 函数^[27], 即一种常见的非线性的单偶极子模型拟合方法, 主要被用于揭示皮层电位的分布情况^[28]. 源定位模型是通过四壳头部球形模型来估计的. 就该头模型而言, 研究将头皮、颅骨、CSF 和大脑的电导率分别预设 0.33, 0.0042, 1.00 和 0.33 mhos/m. 四球模型参数分别标准化, 且定为 85, 79, 72 和 71 mm. 头部球形模型中产生的偶极子定位结果通过平均后的标准脑核磁共振成像结果呈现, 该标准脑模板中包括 DIPFIT 函数信息且有蒙特利尔神经病学研究所(Montreal Neurological Institute, MNI)配准后的具有电极位置标记的平均脑成像图谱. 拟合后的偶极子源的解剖位置主要通过带有 7 mm 的搜索范围的 Talairach Daemon 客户端给出(Research Imaging Center, University of Texas)^[29].

2 结果

有思维僵局、无思维僵局和纳入分析的被试所做的“2”反应的平均试次分别为(37±11.3), (30±11.1)和(30±10.8), 存在显著差异, $F(2, 24)=1.77$, $P>0.05$. 为了进一步考察思维僵局和问题难度的关系, 就问题难度和被试主观报告的思维僵局的相关关系进行了分析. 将实验中所考查的问题以及先前实验中 103 名被试评估的难度划分为两个类别. 其中一类比较困难, 一类比较容易. 类似的, 问题也被划分为有思维僵局和无思维僵局两类. 如前所述, 问题类型依据被试的主观反应确定. 研究结果显示, 69.82% 的有僵局难题均是较困难问题, 只有 30.18% 的有僵局难题属于较容易问题. 与此同时, 有 10.84% 的无僵局难题是较困难问题, 约有 89.16% 的无僵局难题是容易问题. 相关分析结果显示, 有僵局难题与困难问题数目间呈显著正相关, 相关系数约为 0.70, $P<0.001$. 同时, 无僵局难题与容易问题数目间呈显著负相关, 相关系数约为 -0.70, $P<0.001$. 但有僵局难题与容易问题数目间也呈显著的正相关, 相关系数为 0.24 左右, $P<0.05$. 之外, 无僵局难题与容易问题数目间也有 0.74 的关联度, $P<0.001$. 上述结果表明, 尽管问题难

度在决定难题是否具备思维僵局性质过程中起着重要作用, 但它亦非决定问题是否包含思维僵局的唯一因素(解释度仍只在 50% 左右). 脑电总平均波形图和地形图(图 1)显示, 两类问题均主要诱发了 N1(N60~120), P2(P120~210), N2(N190~250) 和 N3(N320~440)等 ERP 成分, 且各成分的潜伏期并无显著差异($P>0.05$). 采用三因素重复测量方差分析对 N1 成分的平均波幅进行差异检验, 结果显示, 仅半球部位与电极位置的交互效应显著, $F(6, 72)=4.08$, $P<0.05$. 类似地, N2 成分除了问题类型与电极位置的交互效应以及半球部位与电极位置的交互效应显著外, 其他效应均不显著. N3 成分的电极位置主效应显著, $F(3, 36)=3.50$, $P<0.05$, 以及半球部位和电极位置交互效应显著, $F(6, 72)=5.50$, $P<0.01$, 其他效应均不显著.

有僵局谜题和无僵局谜题在 P2(120~210 ms)和晚正成分 LPP(440~800 ms)时程范围内诱发了明显不同的脑电波形. 如图 1 所示, P2 是一个波峰出现于刺激呈现后 160 ms 且最大波幅点位于 Cz 的脑电正成分. 借助 2(问题类型)×4(电极位置)×3(半球部位)的三因素重复测量方差分析, 分别对 P2 和 LPP 成分的波幅进行差异分析. 方差分析结果显示, P2 的问题类型主效应显著, $F(1, 12)=5.94$, $P<0.05$; 电极位置主效应显著, $F(3, 36)=11.75$, $P<0.001$; 而且半球部位主效应也极其显著, $F(6, 72)=14.01$, $P<0.001$. 深入分析显示, 额中央区 P2 成分表现为明显的问题类型主效应, $F(1, 12)=6.49$, $P<0.05$; 半球部位主效应显著, $F(2, 24)=7.98$, $P<0.01$. 然而, 顶枕区 P2 成分的电极位置主效应显著, $F(1, 22)=16.50$, $P<0.01$, 半球部位主效应十分显著, $F(2, 24)=8.56$, $P<0.01$; 电极位置和半球部位的交互效应显著, $F(2, 24)=5.08$, $P<0.05$. 该结果意味着有僵局问题相比无僵局问题诱发了前部 P2 脑电成分, 而后部的 P2 成分没有差异. 先前研究显示, 晚期时间窗口存在一定差异. 于是研究进一步将晚正成分时程分割为两个同质的时窗: 早期晚正成分(440~620 ms)和晚期晚正成分(620~800 ms). 同时, 研究也显示, 额中央区电极较之顶枕区电极诱发了更大的晚正成分, 而且晚正成分也呈现出显著的问题类型主效应, $F(1, 12)=10.33$, $P<0.01$. 电极位置的主效应也十分显著, $F(3, 36)=20.05$, $P<0.001$. 为了排除晚期晚正成分认知功能的其他可能解释(如晚期晚正成分是否为思维僵局的认知重评, 因为先前诸多情

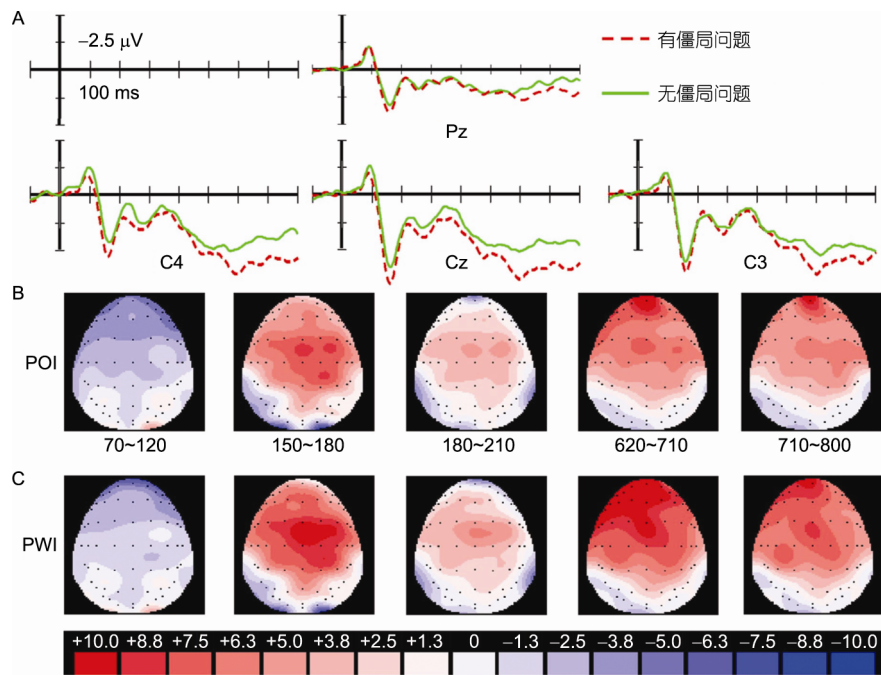


图 1 所有被试(N=13)脑电活动的总平均图和地形图

A: 总平均波形图; B: 无思维僵局谜题所诱发的脑电地形图; C: 有思维僵局谜题所诱发的脑电地形图

绪调节研究显示, 晚期晚正成分可能与情绪调节的认知重评有关), 本研究运用源定位分析技术抽取了晚期晚正成分(620~800 ms)的神经起源. 研究将有僵局谜题诱发的 ERP 波形减去无僵局谜题诱发的 ERP 波形获得了差异波. 对 620~800 ms 脑电成分差异波进行独立成分分析, 发现该时程内散有 7 个独立的神经源. 然而, 其中两个皮下神经起源相对合理. 一个神经源起源于左侧额上回附近(依据 Talairach 坐标, 其位置为: $x=-5$, $y=24$, $z=50$, 图 2), 另一个则起源于左侧楔叶附近($x=0$, $y=-94$, $z=24$). 相对而言, 前一神经起源较后一神经源更为稳妥可信, 因为前者的残差十分接近 0.12%, 但后者的残差相对较大, 约为 32.51%.

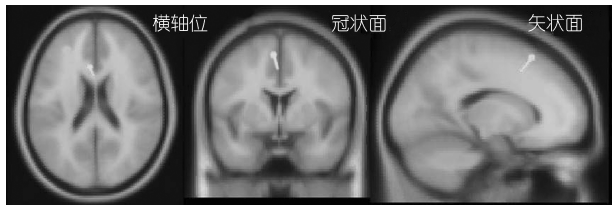


图 2 有僵局谜题与无僵局谜题差异波中差异晚期晚正成分(620~800 ms)的源定位结果(左侧额上回)
显示的是投射于单个标准头模型后的 MRI 结果

3 讨论

思维僵局尽管在许多不同类型的顿悟问题解决过程和酝酿活动中扮演着十分重要且不可替代的作用, 但截至目前人们对思维僵局的相关特点和神经机制仍知之甚少. 不仅如此, 目前对顿悟问题解决过程中思维僵局是何时发生的仍少有研究. 本实验首次运用 ERP 系统地探讨了顿悟类问题解决过程中思维僵局的动态时间特性.

本研究发现, 有僵局谜题相比无僵局谜题在早期就诱发了波幅更大的额中央区的 P2 成分, 且显示 P2 成分大约在谜题呈现后 160 ms 达到峰值, 同时其波幅与谜题类型有着显著关联. 有僵局谜题相比无僵局谜题诱发了更大波幅的 P2. P2 主要与刺激的知觉加工和启动效应有关. 研究中所观察的 P2 波幅仅在额中央区呈现出显著的问题类型主效应, 而在顶枕区并未出现该效应, 这些结果意味着 P2 可能并不是表征刺激知觉的神经心理过程. 由于研究中所使用的问题被划分成了困难问题和容易问题, 这使得人们可能会质疑额中央区的 P2 成分与问题难度加工有关. 但先前研究显示, 问题难度主要与 N2 或 N300 的波幅^[30,31]、甚至某些脑电成分的潜伏期有关^[31~33].

针对问题解决过程所遭遇的思维僵局可能性与问题难度的关系,开展了较细致的分析. 问题难度与思维僵局间相关分析结果显示, 尽管问题难度在决定解题者解题过程是否会遭遇思维僵局方面扮演着十分重要的作用, 但它并非思维僵局是否会产生或出现的唯一决定因素. 除了问题难度对思维僵局的影响外, 解题者已有的知识经验、问题的原始表征以及解题者常规化的与解题活动有关的认知技能也是影响思维僵局的重要因素. 就此而言, 研究所观察的额中央区的 P2 成分并非(完全)表征问题难度, 更合理而言它应是表征和问题难度密切关联的思维僵局, 或者说是问题解决过程中思维僵局的神经标记.

虽然许多研究主张人们在自己看到或知觉到问题之前就已经启动了思维僵局过程^[22], 但额中央区 P2 是否能够反映思维僵局的最终形成, 却是一个十分有待深思的问题. 尽管某些类型问题的思维僵局在没有进行任何的问题空间探索时就已出现, 但大多数类型问题中思维僵局均是在对问题空间进行过一定尝试和探索后才出现的^[12]. 一般情况下, 解题者在遭遇思维僵局之前对问题空间的初始探索不可能在问题呈现后如此短暂的间隔内就发生了. 因此, 研究所观察到的 P2 可能反映的是思维僵局的元认知加工, 而非思维僵局本身的最终形成. 传统意义上, 当解题者遭遇部分思维僵局时, 解题者的元认知通过有意识的反省和重新评估来协助个体形成问题表征. 鉴于 P2 不可能表征已形成或正在形成的思维僵局的反省或有意识思维, 于是 P2 反应的很可能是思维僵局的(早期)元认知觉察. 换言之, 此处所观察到的元认知可能并非负责对思维僵局的事后反省和有意识重评, 而是扮演一种无意识的快速的预评估角色. 也就是说, 此处所说的元认知在理论归属上应该是 Koriat 和 Levy-Sadot 所说的无意识元认知而非 Flavell 所提出的传统的事后反省或有意识的元认知. P2 所扮演的这种元认知过程主要是通过刺激, 更具体来说是所呈现的谜题的知觉熟悉性来实现(对诸如注意分配等后续认知活动的导引)的. 当谜题知觉为足够熟悉时, 个体倾向将其知觉为容易解决或无僵局谜题; 反之, 当谜题知觉为不够熟悉或足够陌生时, 个体倾向将其知觉为需认知努力的难解决问题或者有思维僵局谜题. 这意味着, 额中央区 P2 成分所表征的神经认知过程主要是基于谜题知觉属性或刺激驱动的启发式(尤其是线索熟悉性启发式)来预评或鉴

别潜在的思维僵局以实现个体后续策略选择和注意资源分配的. 与该发现一致, Paynter 等人^[18]发现早期额区的 P2 效应(约起始于刺激呈现后 180 ms)所表征的知道感(FOK)判断等级与数学问题解决过程中已学习过数学方程式的解决与否的绩效有着显著关联. 更重要的是, P2 成分的波幅还与所呈现问题的知觉熟悉性(主要是引导问题的解题策略选择的知觉特征)密切相关, 且标示着个体能否在提取试次中及时获取答案的绩效. 故额区的 P2 被视为知道感(FOK)的前意识指标, 且可能主要与在刺激的知觉加工的基础上所形成的快速启发式的运用和解题策略导向有关. Ryals 等人^[21]观察到, 始于刺激呈现后 125 ms 的更早期的脑电效应主要与随后词汇的成功鉴别与否有关. Nikolaev 等人^[34]也观察到侧向任务中不相容效应所引起额区 P2 主要表征刺激的评估和冲突检测, 并认为该效应可能主要负责所呈现的刺激是否足够熟悉, 以致是否需要进一步的认知搜索的快速评估过程. 先前相关神经影像研究也显示, 顿悟问题解决过程中经常涉及一个“早期预警系统”(early warning system)^[35,36]. 不仅如此, 该预警系统还会因为解题者在谜题问题顿悟过程中刺激知觉熟悉性或策略熟悉性不同而呈现出不同的激活模式^[35]. 在另一项脑电研究中, 发现个体的解题直觉会在思维僵局预期过程中起重要作用^[22]. 综上, 研究表明, 顿悟问题解决过程中所产生的 P2 效应, 作为一种刺激驱动的前额区的元认知机制, 主要反映思维僵局的前意识觉察. 该发现具有非常重要的意义, 它表明人类的元认知和常规思维具有高度的敏感性和自动化信息加工能力, 以致它能在解题者开始解题前就洞察或知悉到所需解决的顿悟问题是否“蕴含”思维僵局.

研究的另一个发现是在谜题呈现后 620~800 ms 内两类谜题诱发了散布整个头皮的晚正成分. 该成分虽然在早期的时间窗口(440~620 ms)内无显著差异, 但有僵局谜题和无僵局谜题在晚期时窗(620~800 ms)诱发的晚期晚正成分在额-中央区存在明显的差异. 研究结果表明, 晚正成分可能并非表征定势转移或者其他顿悟研究中新异联想的形成. 因为研究中的相关数据显示, 有僵局难题条件下解题者一直都没有打破思维定势或者直到看到了问题答案, 解题者才形成了新异联想. Chen 等人^[32]在其研究中观察到晚正成分包含多类脑电成分, 至少包含脑电部的 P3a, 脑后部的 P3b 以及某些条件下的晚期正慢波. 依据

源分析结果, 晚期晚正成分的神经起源定位于左侧额上回。先前研究显示, P3a 的神经起源主要定位在额叶^[37,38], 而 P3b 则主要定位于顶上小叶^[38,39]。因此, 研究所观察到的晚期晚正成分(620~800 ms)实际上就是 P3a。P3a 普遍被视为对中央受控加工敏感的晚期定向反应^[32,40]。具体来说, P3a 主要表征先前额中央区 P2 标记的自动加工随后所激发的受控加工, 且其产生是由前额叶功能以下行方式启动的^[40]。这意味着, P3a 所标记的注意是选择性和有意识的。换言之, 被试在实验中是有意识并选择性地将其注意聚焦于谜题自身特征而非其他知觉内容或其他刺激的。

依据传统的思维僵局定义观, 当解题者遭遇思维定势和/或用尽所有可能的资源和无效解题方案后, 他们就已遭遇思维僵局, 以致无法推进解题进程甚至随后可能不得不选择放弃对问题的求解。从信息加工角度而言, 问题求解的系统过程已经步入了一个转折点。在该点, 解题者遭遇思维僵局, 没有任何新的可能的解题方案或者其他办法来克服, 无法从长时记忆中获得任何解题思路 and 灵感, 深陷在当前工作记忆的瓶颈和思维困境之中。同时, 解题者一旦突破该点的阻抑思维的限制, 打破思维定势和僵局, 个体就很可能产生顿悟。正如引言中所提及的, 注意通常扮演的是“常规门控”角色, 主要承担工作记忆中相关信息的认知操控来实现对当前任务最有关联信息的自上而下的控制。然而, 该过程自然也需占用有限的认知资源和工作记忆空间^[41]。换言之, 思维僵局乃是由于“注意超载”(attentional overload)所致^[16]。实际上, 目前已经有许多研究表明顿悟和工作记忆及其记忆容量(memory capacity)有密切关系。不仅如此, 还有众多研究也观察到思维僵局主要与注意有关。Thomas 和 Lleras^[42]发现, 思维僵局之后的注意转移通常是帮助解题者实现顿悟的内在助力器。Knoblich 等人^[12]在一项眼动研究中进一步观察到解题者遭遇思维僵局后会花更多的时间将目光锁定在谜题题干上。换言之, 思维僵局导致了更长时间的视觉注视或聚焦

(fixation)。Bilalić 等人^[43]也发现, 陷入思维僵局过程中的解题者会花更多的时间注视或者盯着他们之前已经注视(和考虑)过的无效问题线索或特征。先前有关远距离联想问题解决的 ERP 研究也证实, 个体的选择性注意和思维僵局紧密相关^[16]。此外, 先前研究揭示, 电生理水平的 P3 是个体选择性注意的良好的脑电标记^[17]。综上所述, 研究主张所观察到晚期的晚正成分(620~800 ms)主要表征思维僵局的形成, 尤其是伴随该过程的注意聚焦。

总之, 思维僵局作为顿悟赖以实现的重要环节和要素^[6,12], 其所表征的是解题者没有获得问题解决方案, 但仍苦苦挣扎以力求解决问题的内在心理过程。其时间进程同顿悟突然闪现的时点一样十分重要^[16]。目前尚未见到直接对问题解决过程中思维僵局产生的时间节点进行系统探讨的研究。本研究借助实时的脑事件相关电位技术探讨了顿悟类谜题解决过程中思维僵局的动态时间进程。研究中有关思维僵局主要和谜题呈现后的早期额中央区 P2 与晚期晚正成分关联的结果表明, 某些顿悟类问题解决过程中思维僵局出现在一个相对较早的阶段。更重要的是, 本研究揭示, 元认知不仅会参与顿悟类问题的解决, 而且在顿悟类问题解决过程中扮演基于谜题(题干)知觉特征的“早期预警系统”, 并调控解题者随后的策略选择和注意资源分配过程。此外, 本研究中另一值得注意的发现是大脑前额区和问题表面的知觉特性在顿悟问题解决以及潜在思维僵局的鉴别过程中起重要作用。总而言之, 本研究虽然无法排除其他类型顿悟问题解题过程中思维僵局会出现在传统意义上的晚期阶段, 但当前研究结果表明, 汉字字谜问题解决过程中的思维僵局出现在一个相对较早的解题阶段。今后研究可进一步探讨中文字谜类顿悟问题解题过程思维僵局的发生机制与 P2 所表征的思维僵局的早期觉察活动的效果及效应强度, 以及直觉或无意识过程在顿悟问题解决过程中的作用。

致谢 感谢中欧大学 Knoblich G.教授和北京师范大学刘超教授对先前文稿的宝贵建议。

参考文献

- 1 Dietrich A, Kanso R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychol Bull*, 2010, 136: 822–848

- 2 Jung-Beeman M, Bowden E M, Haberman J, et al. Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Bio*, 2004, 2: e97
- 3 Ludmer R, Dudai Y, Rubin N. Uncovering camouflage: amygdala activation predicts long-term memory of induced perceptual insight. *Neuron*, 2011, 69: 1002–1014
- 4 Luo J, Niki K. Function of hippocampus in “insight” of problem solving. *Hippocampus*, 2003, 13: 316–323
- 5 Kaplan C A, Simon H A. In search of insight. *Cogn Psychol*, 1990, 22: 374–419
- 6 Moss J, Kotovsky K, Cagan J. The effect of incidental hints when problems are suspended before, during, or after an impasse. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 2011, 37: 140–148
- 7 Smith S M. Getting into and out of mental ruts: a theory of fixation, incubation, and insight. In: Sternberg R J, Davidson J E, Eds. *The nature of Insight*. Cambridge MA: MIT Press, 1995. 229–251
- 8 Weisberg R W, Alba J W. An examination of the alleged role of “fixation” in the solution of several “insight” problems. *J Exp Psychol Gen*, 1986, 110: 169–192
- 9 Zhao Y, Tu S, Lei M, et al. The neural basis of breaking mental set: an event-related potential study. *Exp Brain Res*, 2011, 208: 181–187
- 10 Qiu J, Li H, Luo Y, et al. Brain mechanism of cognitive conflict in a guessing Chinese logograph task. *Neuroreport*, 2006, 17: 679–682
- 11 Qiu J, Li H, Yang D, et al. The neural basis of insight problem solving: an event-related potential study. *Brain Cogn*, 2008, 68: 100–106
- 12 Knoblich G, Ohlsson S, Raney G. An eye movement study of insight problem solving. *Mem Cogn*, 2001, 29: 1000–1009
- 13 Knoblich G, Ohlsson S, Haider H, et al. Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 1999, 25: 1534–1555
- 14 Ollinger M, Jones G, Knoblich G. Investigating the effect of mental set on insight problem solving. *Exp Psychol*, 2008, 55: 269–282
- 15 Chrysikou E G, Weisberg R W. Following the wrong footsteps: fixation effects of pictorial examples in a design problem-solving task. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 2005, 31: 1134–1148
- 16 Sandkühler S, Bhattacharya J. Deconstructing insight: EEG correlates of insightful problem solving. *PLoS ONE*, 2008, 3: e1459
- 17 Rushby J A, Barry R J, Doherty R J. Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm. *Clin Neurophysiol*, 2005, 116: 2363–2380
- 18 Paynter C A, Kieffaber P D, Reder L M. Problem-solving without awareness: an ERP investigation. *Neuropsychologia*, 2010, 48: 3137–3144
- 19 Reder L M, Ritter F. What determines initial feeling of knowing? Familiarity with question terms, not with the answer. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 1992, 18: 435–451
- 20 Paynter C A, Reder L M, Kotovsky K. Knowing we know before we know: ERP correlates of initial feeling-of-knowing. *Neuropsychologia*, 2009, 47: 796–803
- 21 Ryals A J, Yadon C A, Nomi J S, et al. When word identification fails: ERP correlates of recognition without identification and of word identification failure. *Neuropsychologia*, 2011, 49: 3224–3237
- 22 沈汪兵, 刘昌, 罗劲, 等. 顿悟问题思维僵局早期觉察的脑电研究. *心理学报*, 2012, 44: 924–935
- 23 Thiruchselvam R, Blechert J, Sheppes G, et al. The temporal dynamics of emotion regulation: an EEG study of distraction and reappraisal. *Biol Psychol*, 2011, 87: 84–92
- 24 Hajcak G, Nieuwenhuis S. Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures. *Cogn Affective Behav Neurosci*, 2006, 6: 291–297
- 25 Mai X Q, Luo J, Wu J H, et al. “Aha!” effects in a guessing riddle task: an event-related potential study. *Hum Brain Mapp*, 2004, 23: 128–128
- 26 沈汪兵, 刘昌, 张小将, 等. 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*, 2011, 43: 229–240
- 27 Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics. *J Neurosci Meth*, 2004, 134: 9–21
- 28 Scherg M. Fundamentals of dipole source potential analysis. In: Grandori F, Hoke M, Romani G, eds. *Auditory Evoked Magnetic Fields and Electric Potentials*. Karger: Basel, 1990. 40–69
- 29 Lancaster J L, Woldorff M G, Parsons L M, et al. Automated Talairach atlas labels for functional brain mapping. *Hum Brain Mapp*, 2000, 10: 120–131
- 30 Zhou X, Chen C, Dong Q, et al. Event-related potentials of single-digit addition, subtraction, and multiplication. *Neuropsychologia*, 2006, 44: 2500–2507
- 31 Berg W K, Byrd D L, McNamara J P, et al. Deconstructing the tower: parameters and predictors of problem difficulty on the Tower of London task. *Brain Cogn*, 2010, 72: 472–482
- 32 Chen A, Luo Y, Wang Q, et al. Electrophysiological correlates of category induction: PSW amplitude as an index of identifying shared

- attributes. *Biol Psychol*, 2007, 76: 230–238
- 33 Pauli P, Lutzenberger W, Birbaumer N, et al. Neurophysiological correlates of mental arithmetic. *Psychophysiology*, 1996, 33: 522–529
- 34 Nikolaev A R, Ziessler M, Dimova K, et al. Anticipated action consequences as a nexus between action and perception: evidence from event-related potentials. *Biol Psychol*, 2008, 78: 53–65
- 35 Luo J, Niki K, Phillips S. The function of the anterior cingulate cortex(ACC) in the insightful solving of puzzles: the ACC is activated less when the structure of the puzzle is known. *J Psychol Chin Soc*, 2004, 5: 195–213
- 36 Luo J, Niki K, Phillips S. Neural correlates of the “Aha! reaction”. *Neuroreport*, 2004, 15: 2013–2017
- 37 Friedman D, Cycowicz Y M, Gaeta H. The novelty P3: an event-related potential(ERP) sign of the brain’s evaluation of novelty. *Neurosci Biobehav Rev*, 2001, 25: 355–373
- 38 Restuccia D, Marca G D, Marra C, et al. Attentional load of the primary task influences the frontal but not the temporal generators of mismatch negativity. *Brain Res*, 2005, 25: 891–899
- 39 Halgren E, Marinkovic K, Chauvel P. Generators of the late cognitive potentials in auditory and visual oddball tasks. *Electroenceph clin Neurophysiol*, 1998, 106: 156–164
- 40 Carretié L, Hinojosa J A, Martín-Loeches M, et al. Automatic attention to emotional stimuli: neural correlates. *Hum Brain Mapp*, 2004, 22: 290–299
- 41 Awh E, Vogel E K, Oh S H. Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, 2006, 139: 201–208
- 42 Thomas L, Lleras A. Covert shifts of attention function as an implicit aid to insight. *Cognition*, 2009, 111: 168–174
- 43 Bilalić M, McLeod P, Gobet F. Why good thoughts block better ones: the mechanism of the pernicious Einstellung (set) effect. *Cognition*, 2008, 108: 652–661