

字谜解决中的“啊哈”效应：来自 ERP 研究的证据

邱江 张庆林*

(西南大学心理学院认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715. * 联系人, E-mail: zhangql@swu.edu.cn)

摘要 通过学习-测试的两阶段实验范型, 采用事件相关电位(ERP)技术探讨了顿悟问题(字谜)解决中“啊哈”效应的脑内时程动态变化。结果发现, 在 300~350 ms 内, “猜中”比“再认”字谜诱发出一个更加负性的 ERP 成分(N350), 主要激活了额中部脑区; 在 600~700 ms 内, “猜中”比“再认”字谜则诱发出一个更加正性的晚期 ERP 成分(late positive component, LPC), 主要激活了前额部。对差异波(猜中-再认)进行偶极子溯源分析, 结果显示, N350 可能起源于扣带后回(BA23)和额下回(BA47); 而随后的 LPC 则可能起源于右侧海马旁回(BA34)。

关键词 字谜 顿悟 “啊哈”效应 事件相关电位

顿悟是一个瞬间实现的、问题解决视角的“新旧交替”过程; 它包含两个方面: 一是新的有效的问题解决思路如何实现; 二是旧的无效的思路如何被抛弃(即打破思维定势)^[1]。在格式塔心理学家们看来, 顿悟是一种特殊的加工过程, 该过程主要在以下几种情况下出现: () 思维的无意识跳跃; () 心理加工被极大地加快; () 认知加工过程产生某种类型的短路^[2]。一般而言, 顿悟过程通常会有一种恍然大悟的感觉, 而且时常伴随着强烈的情感体验, 因此, Gick 等人^[3]将意识到问题答案瞬间的“啊哈”体验(Aha experience)作为顿悟问题解决的定义特征。近一个世纪以来, 研究者一直都在试图揭示顿悟的奥秘, 但有关顿悟认知机制的阐释仍然存在诸多不同的理论观点, 如以 Simon 和 Kaplan 为代表的表征转变(representation change)理论^[4]、以 Ormerod 和 Chronicle 为代表的进程监控(progress monitoring)理论^[5,6]等。近来, 脑成像技术的高速发展使得有关顿悟脑机制的研究成为可能, 它们为直接观察脑在处理复杂信息时的活动状况提供了强有力的研究手段, 如事件相关功能性磁共振成像技术(event-related fMRI)使得我们能够以毫米水平的精确程度记录大脑在某个瞬间的活动状况。但是, 由于顿悟是一个较为罕有而又瞬间即逝的“发现”状态, 采用脑成像技术研究顿悟的脑机制目前还存在两大难点: () 在自然状态下, 顿悟发生的时间点是不可控的, 很难记录到顿悟发生瞬间的大脑活动情况; () 经典的顿悟问题(如蜡烛问题、双绳问题等)非常少, 不能满足

fMRI, ERP (event related potential)技术需要多次叠加的实验要求^[1,7]。

针对以上困难, 罗劲等人^[1,8,9]在最近的一系列研究中采取了两项措施: 一是采用传统的谜语作为实验材料; 二是通过向被试呈现标准答案来“催化”顿悟过程。他们利用 fMRI 技术记录了大脑在实现顿悟瞬间的活动状况, 结果发现, 顿悟过程激活了包括额叶、颞叶、扣带前回(anterior cingulate cortex, ACC)以及海马在内的广泛脑区。而且他们进一步认为, 顿悟过程中, 新异而有效的联系的形成依赖于海马, 问题表征方式的有效转换依赖于一个“非语言的”视觉空间信息加工网络, 而思维定势的打破与转移则依赖于扣带前回与左腹侧额叶^[11]。随后, Mai 等人^[10]利用谜语作为实验材料, 采用 ERP 技术从加工的时间过程上探索了问题解决过程中顿悟的神经机制。结果发现, 呈现答案以后, “有顿悟”比“无顿悟”答案的 ERP 波形在 250~500 ms 内有一个更加负性的偏移, 该负成分可能起源于 ACC, 反映了顿悟问题解决过程中思维定势的突破^[11]。国外, Bowden 等人^[7,11]也一直致力于揭示顿悟的大脑机制, 为了克服两大难点, 他们创建了大量的复合远距离联想任务(compound remote associates problems, CRA)作为研究顿悟的实验材料。例如, 靴子-夏日-土地(答案: 露营), 要求被试根据 3 个无关的单词, 想象一个新奇的答案, 将三者有效地联系起来。结果发现, 被试想到新奇答案的瞬间, 更多地激活了右侧颞上回(superior temporal gyrus)。

综上所述, 可以发现, 目前的研究似乎仍然未能

2007-04-24 收稿, 2007-11-04 接受

西南大学基础心理学重大资助项目(批准号: 06002, 07002)

很好地克服顿悟研究的两大难点。首先,罗劲等人^[1,8,9]采取谜语作为实验材料,通过呈现谜底来催化“顿悟”过程的研究范式具有开创性的意义。但是,正如傅小兰^[12]所指出的那样,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。邱江等人^[13]通过选取中国传统的字谜作为实验材料,采用与罗劲相同的实验范式,进一步分析了“有顿悟”、“无顿悟”和“不理解”3种情况所诱发的ERP。结果发现,“有顿悟”和“不理解”比“无顿悟”的ERP波形均有一个更为负向的偏移(N320),地形图显示,N320在中后部活动最强。他们认为,N320可能反映了提供答案瞬间新旧思路之间的认知冲突,但是却不能真正揭示顿悟问题解决中思维定势的成功突破以及“恍然大悟”所对应的独特脑内时程变化。因此,被试通过理解问题的答案来获得Aha体验的过程可能是一种领悟;而让被试主动去解决字谜产生Aha体验的过程与现实生活中的“顿悟”则更为相似。其次,远距离联想任务虽然在一定程度上克服了对顿悟进行脑机制研究的缺陷,被试也是通过主动思考来解决问题的,但是该任务本身是否是传统意义上的顿悟问题,却还值得进一步商榷。按照Shavinina^[14]的观点,该任务更可能是在测查个体的概念整合能力,而非问题解决能力。鉴于此,本研究试图采用一种新的实验范式:学习-测试的二阶段实验范型,以顿悟的原型激活理论^[15]作为理论基础,来进一步探讨顿悟问题解决中Aha效应的脑内时程变化。以中国传统的字谜作为实验材料,先让被试学习一个字谜(原型字谜)——学习阶段,然后再让被试去解决一个同型的字谜(靶字谜)——测试阶段。通过学习原型字谜,可以让被试获取解决靶字谜的启发信息,较快猜到字谜的答案,获取顿悟。采用高密度的ERP技术,记录并分析被试猜测字谜时所诱发的ERP,为深入揭示顿悟的脑机制提供直接的电生理证据。

1 方法

()被试。12名来自国内某著名高校的本科三年级学生(6男6女),年龄19~23岁(平均21.2岁)。被试皆为右利手,没有生理或精神方面的疾病,视力或者矫正视力正常,做完实验后被试均获取适量报酬。

()刺激材料。通过预实验,随机选择64名本科二年级学生对150条字谜的难度和趣味性进行五

点评定。根据行为结果,选取难度适中、趣味性较高的130条字谜作为测试字谜。已有研究^[8~10,13]表明,人们在猜谜的过程中都有这样的经历:之前冥思苦想很久,一旦突破了思维定势猜到答案(或被告知谜底的时候),就会有一种“啊哈”的顿悟体验。本研究所选取的字谜符合经典顿悟问题的特征:首先,谜面中所包含的信息会有误导作用,不能按通常思维去理解,在没有原型启发的情况下正确率偏低;其次,字谜问题的解决并不依赖于特殊的知识技能;最后,原型字谜至少含有一个关键性启发信息,可以用于靶字谜的解决,一旦这个原型字谜及其关键性启发信息被激活,靶字谜就能够在数秒之内突然得到解决,产生“啊哈”体验。

根据二阶段实验范型的设想,为其中65条测试字谜(靶字谜)分别编写了一个与之配对的具有启发作用的原型字谜(配对类型)。例如,有口难言(原型字谜)→有眼难见(靶字谜)。“有口难言”的谜面意思是“有嘴却不能说话”,因此可以想到“哑”字,再根据谜面的意思进行反推,去掉“口”字,便能得到谜底“亚”字。通过对这一原型字谜的学习,被试可以获取解决靶字谜的启发信息,很快猜到“有眼难见”的答案为“亡”。预实验的结果发现,如果不提供原型字谜,被试在规定的时间内(1 min)很难猜到靶字谜的答案,但是在学习原型字谜以后,可以使被试尽快跳出错误的问题空间,缩短解决靶字谜的酝酿期,在短时间内获取顿悟。为了更好地揭示顿悟的脑机制,本研究还设置了一类基线任务,即测试阶段所出现的靶字谜与学习阶段的字谜是一样的(重复类型),被试只需根据记忆便能作出正确的反应。所有字谜的谜面长度均控制在2~14个汉字之内,谜底均为一个汉字,采用16号宋体呈现于屏幕的正中央,出现在谜语中的汉字均为常见字。

()实验程序。学习-测试的刺激呈现流程如图1所示。首先在屏幕中央呈现一个学习字谜(包括谜面和答案),时间为8 s,让被试对字谜进行快速的理解,并作出相应的按键反应,具体为:理解则按“1”键;不理解则不按键。间隔1 s后,在屏幕中央呈现测试字谜,时间为4 s,告之被试根据学习字谜阶段所获得的信息,尽快猜测测试字谜的答案。要求被试一旦猜到答案,就快速按“1”键;不能猜到答案,就不按键。如果测试字谜与先前的学习字谜相同,那么只要能回忆出该字谜的正确答案,就快速按“1”键;

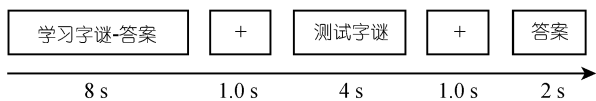


图 1 学习-测试的字谜呈现流程

反之不按键。最后, 间隔 1 s, 提供测试字谜的正确答案, 呈现时间为 2 s, 要求被试判断自己的猜测结果是否与正确答案一致, 并作出相应的按键反应。具体为与正确答案一致按“1”键; 没有猜中但能理解正确答案按“2”键; 没有猜中且也不能理解正确答案不按键。

整个实验分为两个部分: 首先进行练习程序, 被试完成 10 对字谜的学习与测试任务(配对与重复类型各 5 个), 熟悉实验流程和猜谜规则。随后, 将 120 对字谜分成 5 个组块进行正式测试, 每个组块有 24 对字谜(配对与重复字谜各 12 个, 随机呈现), 组块之间被试可以进行适当的休息。实验时被试静坐于实验室内, 两眼注视屏幕中央, 眼睛距屏幕 60 cm 左右, 要求被试尽量少动, 答案呈现时尽量不眨眼, 尽可能快而准地作出按键反应。

() EEG 记录和分析。使用德国 Brain Products 公司的 ERP 记录与分析系统, 按国际 10~20 系统扩展的 64 导电极帽记录 EEG, 以双耳乳突的连线作为参考电极, 双眼外侧安置电极记录水平眼电(HEOG), 左眼上下安置电极记录垂直眼电(VEOG)。每个电极处的头皮电阻保持在 5 k Ω 以下。滤波带通为 0.05~80 Hz, 采样频率为 500 Hz/导。完成连续记录 EEG 后离线(off line)处理数据, 自动校正 VEOG 和 HEOG, 并充分排除其他伪迹。根据本实验的目的, 主要分析测试字谜出现后所诱发的 ERP, 分析时程(epoch)为字谜出现后 1000 ms, 基线为刺激出现前 200 ms。按照被试对答案的反应结果, 分别对配对情况下猜中答案(“猜中”)与重复情况下作出正确判断(“再认”)的 EEG 进行叠加。波幅大于 $\pm 80 \mu\text{V}$ 者被视为伪迹自动剔除。根据实验所得到的两类反应的 ERP 总平均图和地形图(图 2), 选择 23 个电极位置, 进行二因素重复测量的方差分析, 二个因素分别为反应类型(“猜中”、“再认”)和记录点(FPz, Fz, Cz, AF3, AF4, F1, F2, F5, F6, C3, C4, FT7, FT8, Pz, Oz, P1, P2, P5, P6, O1,

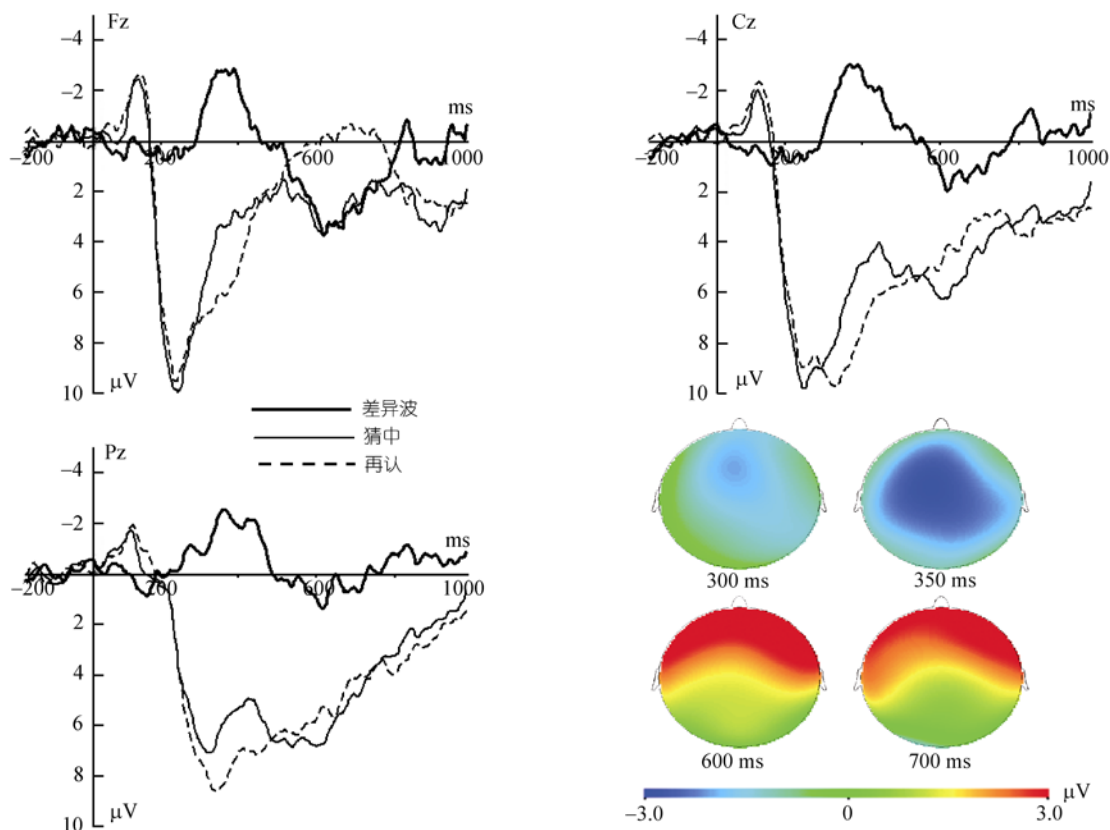


图 2 猜中、再认在 Fz, Cz 和 Pz 记录点所诱发的 ERP 总平均图及其差异波(猜中-再认)的地形图

O2, TP7 和 TP8). 方差分析的 P 值采用 Greenhouse Geisser 法校正, 脑电地形图由 64 导数据得出.

() 偶极子溯源分析. 使用 Brain Electrical Source Analysis Program (BESA, Version 5.0) 软件, 选择四壳球头模型, 对 ERP 数据进行偶极子溯源分析. 为了更准确地探讨顿悟的大脑机制, 提高源定位的精度, 选取“猜中”与“再认”所诱发的 ERP 差异波进行主成分分析 (PCA), 确定偶极子个数后, 软件自动确定偶极子的位置, 以相应的残差作为偶极子定位是否真实的评价指标.

2 结果

2.1 行为数据

行为记录结果表明, 在配对情况下, 猜中且猜测答案与正确答案一致的灯谜 (“猜中”) 平均为 (42 ± 10) 个, 平均正确率为 70%, 平均反应时 (RTs) 为 (2333 ± 257) ms; 在重复情况下, 被试能根据学习阶段对原型灯谜的理解, 迅速正确提取相应答案的平均次数为 (46 ± 4) , 平均正确率为 76.7%, 平均反应时为 (1132 ± 366) ms. 这一结果表明, 被试通过学习原型灯谜获取的启发信息可以帮助他们较快猜到靶灯谜的答案, 产生顿悟; 而在重复情况下, 被试只需要从记忆中提取该灯谜的答案, 并不存在激活原型解决靶灯谜的认知过程. 通过对部分被试的事后口语报告也发现, 在重复情况下, 被试均认为这类任务特别简单, 只要能记住灯谜的答案即可; 而在配对情况下, 他们则认为任务较难, 因为灯谜的谜面信息往往会误导他们进入错误的思考空间 (习惯化的思维方式), 但是如果先前理解了原型灯谜, 在解决靶灯谜时, 就能跳出 “陷阱”, 较快找到灯谜的正确答案.

2.2 ERP 数据

根据总平均图和差异波地形图 (图 2) 可以发现, 在 300~350 ms 内, “猜中”比“再认”灯谜诱发出一个更加负性的 ERP 成分 (N350), 主要激活了额中部脑区; 在 600~700 ms 内, “猜中”比“再认”灯谜则诱发出一个更加正性的 ERP 成分, 主要激活了前额部. 对 250~500 ms (间隔 50 ms) 和 500~800 ms (间隔 100 ms) 的平均波幅进行二因素重复测量的方差分析. 结果显示, 在 300~350 ms 内, 反应类型的主效应显著, $F(1,11) = 5.61$, $P < 0.05$; 电极位置以及两者的交互作用均不显著. 在 600~700 ms 内, 反应类型的主效应达到临界显著水平, $F(1,11) = 4.39$, $P = 0.06$. 另外, 电极位置的主效应以及任务类型与电极位置的交互作用显著, $F(22,242) = 8.28$, $P < 0.01$; $F(22,242) = 4.77$, $P < 0.01$. 简单效应检验的结果表明, 两类反应主要在头皮中前部的电极点 (如 FPz, Fz, Cz, AF3, AF4, F1, F2, F5, F6, C3, C4) 诱发的 ERP 有明显的差异, 与地形图的结果基本一致.

使用 BESA 软件对 “猜中”和 “再认”灯谜所诱发的 ERP 差异波作偶极子溯源分析, 结果见图 3. 根据统计检验的结果, 选定任务类型主效应显著的 300~350 和 600~700 ms 两个时间窗口, 进行主成分分析. 在 300~350 ms (N350) 内, 可以看到有二个成分可以分别解释总变异的 80.8% (1) 和 9.7% (2), 因此选定两个偶极子进行拟合, 不限制偶极子的方向和位置. 结果发现, 偶极子 1 主要位于扣带回后 (posterior cingulate) 附近 (三维坐标以 Talairach 为参考: $x = -2.1$, $y = -22.3$, $z = 29.8$), 偶极子 2 主要位于额下回 (inferior frontal gyrus) 附近 ($x = -50.3$, $y = 28.2$, $z = -2.6$), 在 320 ms 处两个偶极子均处于激活的顶峰, 能较好地解释绝

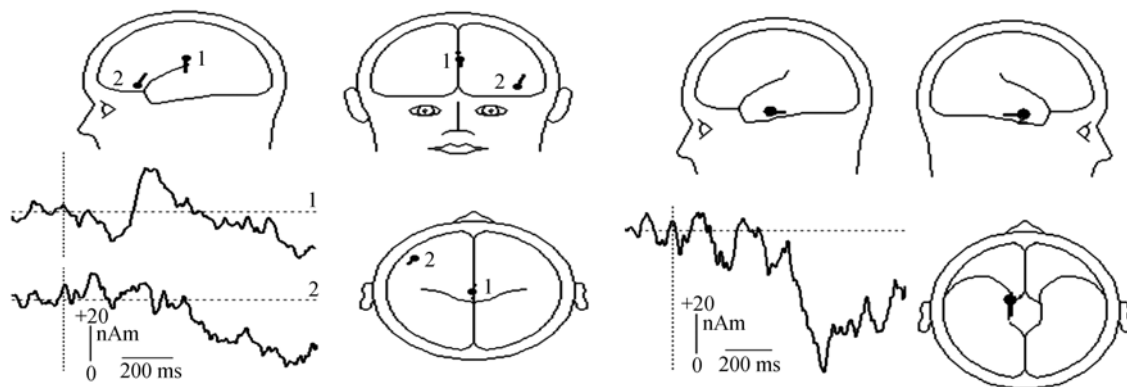


图3 差异波 (猜中-再认) 在 300~350 ms (左侧) 和 600~700 ms (右侧) 内的偶极子溯源分析结果

大多数的变异, 残差为 14.7%。在 600~700 ms 内, 可以看到有一个成分可以解释总变异的 98.6%, 因此选定一个偶极子进行拟合, 结果发现, 该偶极子主要位于右侧海马旁回(parahippocampal gyrus)附近($x = 11.9, y = -3.8, z = -18.8$)。在 650 ms 处偶极子均处于激活的顶峰, 能较好地解释绝大多数的变异, 残差为 1.8%。

3 讨论

本研究采用学习-测试的两阶段实验范型, 以中国传统的字谜作为实验材料, 首先让被试学习一个字谜(原型字谜), 获取解决测试字谜(靶字谜)的启发信息; 随后在解决测试字谜的时候, 促使其较快突破思维定势, 形成新异联系, 产生顿悟。为了更好地探测顿悟的大脑机制, 本研究还设置了一类基线任务, 即学习阶段和测试阶段的字谜是相同的, 被试只需要在记忆中进行正确的信息提取便能有效地完成实验任务, 不涉及思维定势的突破和新异联系的形成等认知过程。因此, 通过对差异波(猜中-再认)的分析, 可以较好地探测顿悟认知过程(如启发信息的激活、思维定势的突破以及新异联系的形成等)的脑内时程特点。

首先, 在 300~350 ms 内, “猜中”比“再认”字谜诱发出一个更加负性的 ERP 成分(N350)。偶极子溯源分析的结果显示, N350 可能主要起源于扣带后回(BA23)和额下回(BA47)。根据总平均图可以发现, N350 在整个波形中是第二个负成分, 因此它可能是一个 N2 成分, 而且该成分与其他 ERP 研究中的 N2 在许多方面基本类似。例如, van Veen 和 Carter^[16]在 Eriksen Flanker 作业中发现一个明显的 N2 成分, 其最大波峰位于 Cz 点, 反应的潜伏期为 340~380 ms, 以额中央头皮分布为特点, 反映了大脑对认知冲突的监控和调节过程。但是, 本研究发现, N350 主要起源于扣带后回(PCC)和额下回, 而不是扣带前回(ACC)。到目前为止, 有关 PCC 参与了那些认知过程还知之甚少, 而且不同的研究所得到的结论也还缺乏一致性。一些研究认为, PCC 可能主要与情节记忆有关^[17], 而 Maddock^[18]的研究则发现 PCC 可能主要与情绪加工有关。Zysset 等人^[19]认为, PCC 与楔前叶可以进一步构成功能强大的神经网络, 主要负责对记忆系统中的信息以及当前所接受的外界信息的不同特征进行加工和整合, 以形成丰富的认知联系。近来, Tracy 等人^[20]在研究中要求被试理解一个特定的

故事, 通过听觉系统以一定的速度呈现相关内容, 结果发现, 与文章正文中的单词相比, 突然出现的无关词汇更多地激活了扣带后回(BA23, 30)和右侧颞中回。因此, 他们认为, 与经典的执行控制系统, 包括 ACC 和前额叶等脑区, 主要涉及对认知冲突, 错误反应的监控和调节相比, PCC 和颞中回等脑区则构成一个非执行控制系统。该系统通常以一种自动的、付出较少认知资源以及非策略的方式对外界信息进行监控, 识别无关信息的干扰, 抑制相应脑区的激活, 从而更好地集中精力完成当前的认知任务^[20,21]。就本研究而言, 字谜作为一种智力题目, 其谜面信息往往会导致被试进入错误的问题空间进行思考(思维定势), 或者信息本身会让被试习惯性地产生一种认知冲突或是思维困惑, 如“有眼难见”。而在配对情况下, 被试已经获取了解决靶字谜的启发信息(如“有口难言”), 该信息的激活可以促使被试进入正确的问题空间, 避免陷入一种思维的僵持状态。而且, 有研究表明^[22]原型事件的激活有“自动化”的趋势, 被试可能无需付出太多的认知资源, 便能自动激活启发信息。因此, 本研究所发现的 N350 可能与 PCC 的非执行控制功能密切相关, 该系统主要负责以一种自动的方式对错误的思路(思维定势)或是认知冲突进行监控, 并抑制无关脑区的激活。而 Mai 等人^[10]所发现的起源于扣带前回的 N380 成分则主要起着执行控制功能, 反映了理解答案过程中思维定势的成功突破, 是一种主动的监控和调节过程, 控制着思维的信息加工流向。另外, 已有研究发现, 额下回的激活主要与言语材料的加工有关^[23]。Chou 等人^[24]的研究发现, 当要求被试判断词对的语义是否相关时, 无关词对比相关词对更多地激活了左侧额下回, 也就是说, 当被试需要花费更多的认知资源来加工语义信息, 形成丰富的语义联系的时候, 左侧额下回会得到更多的激活。本研究中, 被试在对靶字谜进行早期语义加工的同时, 还必须在原型字谜与靶字谜之间形成特定的语义联系, 以便有效地应用启发信息来解决靶字谜; 而重复测试情况下, 被试只需根据语义加工的结果, 从记忆中提取对应的信息即可。因此, N350 可能与左侧额下回的激活也有一定关系, 反映了语义联系的形成过程。

另外, 本研究所发现的“猜中”比“再认”字谜诱发出一个更加负性的 ERP 成分(N350), 与记忆研究中的新旧效应似乎也极为相似。诸多研究^[25~27]表明, 新

旧效应主要表现为,在刺激呈现后的300~800 ms范围内,旧词产生一个比新词更加正向的晚期ERP成分,主要分布于左侧顶叶。本研究中的学习-测试范式与新旧效应的再认实验范式虽然都包括学习和测试两个阶段,但是在再认范式中,被试学习的项目一般都会在数个乃至几十个以上,而在测试阶段还会增加若干新项目,在这样的任务条件下,被试必须进行充分的编码、存储和提取,才能完成随后的记忆判断任务。而本研究采用一对一的学习-测试范式,让被试理解一个字谜再去解决一个新的字谜,可能需要的不仅仅是记忆而是对字谜谜面与谜底之间关系的理解和迁移;在再认字谜条件下,与新旧效应的再认任务相比,被试也无需花费太多的认知资源对测试字谜进行记忆判断,因此,我们认为本研究所发现的N350可能并不能用记忆研究中的新旧效应来进行解释。

其次,在随后的600~700 ms内,“猜中”比“再认”字谜则诱发出一个更加正性的晚期ERP成分(LPC),通过对差异波(猜中-再认)进行偶极子溯源分析,结果发现,LPC可能主要起源于右侧海马旁回(BA34)附近。根据相关研究^[10]的结果,我们认为,在本研究中,LPC可能属于晚期P300成分,在一定程度上反映了工作记忆中信息的更新和加工过程^[28,29]。Smith^[30]的研究发现,LPC可能与词语的重新建构和提取有关,这是一个基于长时记忆系统的更为精细的认知加工过程。Kusak等人^[31]的研究表明,晚期正成分(LPC)主要分布于顶中央部,并随记忆难度增大,该成分不仅反映了记忆刷新和抑制执行功能,而且还反映了记忆负荷效应和工作记忆内容的保持。另外,已有研究^[32,33]也发现,海马旁回与海马主要与情节记忆有着非常密切的联系,如信息编码、记忆保持以及信息回忆等,而右侧海马旁回的激活还能预测随后是否能对信息进行成功的回忆和正确的提取^[34]。因此,在字谜呈现后的600~700 ms内,本研究所发现的LPC成分(猜中-再认)可能反映了被试根据学习原型字谜所获得的启发信息,以一种非常规的方式来理解和拆分字谜,在谜面与谜底之间形成新异的联系,在工作记忆中搜索字谜答案的认知过程,而右侧海马旁回的激活则可能与这一认知过程有关。例如,罗劲等人选取谜语作为实验材料,的确发现海马可能主要与顿悟问题(谜语)解决中新异联系的形成(将一个常见的概念与一种不常见的描述方式联系起来)有关^[8]。

总体而言,本研究以字谜作为实验材料的研究结果在一定程度上为揭示人类顿悟的大脑奥秘提供了更多的电生理学证据。本研究所发现的N350,与N2成分一样,可能与认知冲突的监控与调节有关。有趣的是,N350主要起源于扣带前回(PCC)而非扣带前回(ACC)。因此,与扣带前回(ACC)的执行控制功能相比,PCC可能只对思维定势(错误的问题空间)或认知冲突进行监控与抑制,看起来更像是一个非执行控制系统。随后,在600~700 ms内,“猜中”比“再认”字谜诱发出一个更加正性的ERP成分(LPC),该LPC成分主要起源于右侧海马旁回(BA34)附近,可能主要与新异联系的形成有关。然而,由于溯源分析本身存在的诸多缺陷,本研所得到的结果只是在已有研究的基础上提供了另一个可能的模型,而不是经验数据。因此,并不能排除其他脑区参与顿悟认知过程的可能性。今后可以通过改进实验范式,选择其他实验材料,将ERP、fMRI等脑成像技术结合起来,对顿悟问题解决的脑机制进行更有效的研究,获取更多的实验证据。

致谢 衷心感谢中国科学院心理研究所心理健康重点实验室罗劲研究员对本研究提出的宝贵意见,同时也感谢匿名审稿人的指导和建议。

参 考 文 献

- 1 罗劲. 顿悟的大脑机制. 心理学报, 2004, 36: 219—234
- 2 张庆林. 顿悟心理机制的实验分析. 心理学杂志, 1989, 4(2): 23—28
- 3 Gick M L, Lockhart R S. Cognitive and affective components of insight. In: Sternberg R J, Davidson J E, eds. The Nature of Insight. Cambridge, MA: MIT press, 1995. 197—228
- 4 Kaplan C A, Simon H A. In search of insight. Cogn Psychol, 1990, 22: 374—419[DOI]
- 5 MacGregor J N, Ormerod T C, Chronicle E P. Information processing and insight: A process model of performance on the nine-dot and related problems. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2001, 27: 176—201[DOI]
- 6 Ormerod T C, MacGregor J N, Chronicle E P. Dynamics and constraints in insight problem solving. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2002, 28: 791—799[DOI]
- 7 Bowden E M, Juang-Beeman M, Fleck J, et al. New approaches to demystifying insight. Trends Cogn Sci, 2005, 9: 322—328[DOI]
- 8 Luo J, Niki K. The function of hippocampus in 'insight' of problem solving. Hippocampus, 2003, 13: 274—81
- 9 Luo J, Niki K, Phillips S. Neural correlates of the 'Aha! Reaction'. NeuroReport, 2004, 15: 2013—2017[DOI]
- 10 Mai X Q, Luo J, Wu J H, et al. "Aha!" Effects in guessing riddle task: An ERP study. Hum Brain Mapp, 2004, 22: 261—70[DOI]
- 11 Bowden E M, Jung-Beeman M. Aha! Insight experience correlates

- with solution activation in the right hemisphere. *Psychol Bull Rev*, 2003, 10: 730—737
- 12 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
- 13 邱江, 罗跃嘉, 吴真真, 等. 再探猜谜作业中“顿悟”的 ERP 效应. *心理学报*, 2006, 38: 507—514
- 14 Shavinina L V. Beyond IQ: A new perspective on the psychological assessment of intellectual abilities. *New ideas Psychol*, 2001, 19: 27—47[DOI]
- 15 张庆林, 邱江, 曹贵康. 顿悟认知机制的研究述评与理论构想. *心理科学*, 2004, 27: 1435—1437
- 16 van Veen V, Carter C S. The timing of action monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *J Cogn Neurosci*, 2002, 14: 593—602[DOI]
- 17 Grasby P M, Frith C D, Friston K J, et al. A graded task approach to the functional mapping of brain areas implicated in auditory verbal memory. *Brain*, 1994, 117: 1271—1282[DOI]
- 18 Maddock R J. The retrosplenial cortex and emotion: New insights from functional neuroimaging of the human brain. *Trends Neurosci*, 1999, 22: 310—316[DOI]
- 19 Zysset S, Huber O, Ferstl E, et al. The anterior frontomedian cortex and evaluative judgment: An fMRI study. *NeuroImage*, 2002, 15: 983—991[DOI]
- 20 Tracy J, Flanders A, Madi S, et al. The brain's response to incidental intruded words during focal text processing. *NeuroImage*, 2003, 18: 117—126[DOI]
- 21 Raichle M E. The neural correlates of consciousness: An analysis of cognitive skill learning. In: Gazzaniga M S, ed. *The New Cognitive Neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 1305—1318
- 22 张庆林, 邱江. 顿悟与源事件启发信息的激活. *心理科学*, 2005, 28: 6—9
- 23 Fiez J A. Phonology, semantics, and the role of the left inferior prefrontal cortex. *Hum Brain Mapp*, 1997, 5: 79—83[DOI]
- 24 Chou T L, Booth J R, Burman D D, et al. Developmental changes in the neural correlates of semantic processing. *NeuroImage*, 2006, 29: 1141—1149[DOI]
- 25 Friedman D. ERPs during continuous recognition memory for words. *Biol Psychol*, 1990, 30: 61—87[DOI]
- 26 Rugg M D. ERP studies of memory. In: Rugg M D, Coles M G, eds. *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition*. Oxford: Oxford University Press, 1995. 132—170
- 27 Simon F, Michael S H, Simon D G, et al. ERP ‘old/new’ effects: Memory strength and decisional factor(s). *Neuropsychologia*, 2002, 40: 2288—2304[DOI]
- 28 Donchin E, Coles MGH. Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci*, 1988, 11: 355—372
- 29 Bosch V, Mecklinger A, Friederici A D. Slow cortical potentials during retention of object, spatial, and verbal information. *Cogn Brain Res*, 2001, 10: 219—237[DOI]
- 30 Smith M E. Neurophysiological manifestations of recollective experience during recognition memory judgments. *J Cogn Neurosci*, 1993, 5: 1—13
- 31 Kusak G, Grune K, Hagendorf H, et al. Updating of working memory in a running memory task: An event related potential study. *Int J Psychophysiol*, 2000, 39: 51—65[DOI]
- 32 Cabeza R, Dolcos F, Graham R, et al. Similarities and differences in the neural correlates of episodic memory retrieval and working memory. *NeuroImage*, 2002, 16: 317—330[DOI]
- 33 Leube D T, Erb M, Grodd W, et al. Differential activation in parahippocampal and prefrontal cortex during word and face encoding tasks. *NeuroReport*, 2001, 12: 2773—2777[DOI]
- 34 Grady C L, McIntosh A R, Craik F I M. Task-related activity in prefrontal cortex and its relation to recognition memory performance in young and old adults. *Neuropsychologia*, 2005, 43: 1466—1481[DOI]