

顿悟中的蔡格尼克效应: 左右脑在解题失败与提示信息加工时的活动差异

唐晓晨, 庞娇艳, 罗劲*

中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101;

中国科学院研究生院, 北京 100049;

首都师范大学学习与认知实验室, 北京 100083

* 联系人, E-mail: luoj@psych.ac.cn

2009-07-07 收稿, 2009-07-27 接受

中国科学院知识创新工程(批准号: KSCX2-YW-R-28)、国家自然科学基金(批准号: 30770708)和国家高技术研究发展计划(批准号: 2006AA02Z43, 2008AA021204)资助项目

摘要 蔡格尼克效应的存在说明人们对于那些未能完成的任务的记忆保持会更好, 而利用单侧视野呈现技术对顿悟的研究也表明: 人们在问题求解失败后, 如提示信息出现较晚, 则输入右脑的提示信息会比输入左脑的提示信息更能促成顿悟, 提示右脑在未解决问题的保持以及对相关提示信息的处理中发挥重要作用. 为了进一步验证上述结果, 本研究利用汉字组块破解任务和事件相关诱发电位(ERP)技术, 研究和比较了大脑左右两半球在问题求解失败以及关键提示信息呈现两个阶段的活动状况. 结果发现, 问题求解失败在右半球激发了更大的 P150 成分, 而成功的问题解决却表现出相反的趋势; 在提示信息呈现阶段对于 P2 成分波幅在问题类型(是否成功解决)和偏侧化的交互作用的分析表明, 左半球不受问题类型的影响, 而右半球的活动则是由不同的问题类型来调控的. 上述结果验证了先前的推测, 提示问题求解失败会引起右半球对相关问题的保持增强, 并最终导致右半球对相关提示信息更加敏感.

关键词
蔡格尼克效应
顿悟
半球差异
汉字组块破解
事件相关电位(ERP)

心理学家很早就注意到人们对于那些未能完成的任务的记忆有时会比对已完成任务的记忆更好, 这就是所谓的蔡格尼克效应^[1], 而按照格式塔心理学家勒温的理论, 在特定目标任务失败之后, 对这个问题的注意仍会被保持在头脑中直到目标实现, 并且这种注意保持不会因执行其他任务而中断^[2,3], 这一设想近年来不但被一些认知心理学实验所证实^[4-9], 而且还被一些从事顿悟研究的学者用来解释顿悟现象. 例如, 有研究者强调, 顿悟中的思维僵局和酝酿过程在顿悟中的重要作用, 他们证明了思维僵局的产生可以帮助被试加强对未解决问题的记忆保

持^[5,9,10]. 考虑到在僵局时产生的认知活动与蔡格尼克效应中观察到现象的一致性, 我们认为蔡格尼克效应可能在顿悟的产生过程中起着重要的作用. 一方面, 僵局的产生可能与蔡格尼克效应发挥着相同的作用, 即对未能解决的问题信息进行持续操作, 从而对问题有更好的记忆和注意; 另一方面, 在顿悟的酝酿阶段, 之前保持的未解决问题的相关信息可以更好地促进人们从环境中提取对解决问题有帮助的信息^[11-13], 而这种对未解决问题的保持正是由先前的类似蔡格尼克效应的现象所导致的.

但我们目前对顿悟中蔡格尼克效应的脑认知机

引用格式: 唐晓晨, 庞娇艳, 罗劲. 顿悟中的蔡格尼克效应: 左右脑在解题失败与提示信息加工时的活动差异. 科学通报, 2009, 54: 3464-3474

Tang X C, Pang J Y, Luo J. Zeigarnik effect in Insight problem solving: Hemispheric difference in brain activities following problem solving and during hint presentation (in Chinese). Chinese Sci Bull (Chinese Ver), 2009, 54: 3464-3474, doi: 10.1360/972009-1107

制仍然所知甚少,迄今为止在这个方面有说服力的实验观察都来自利用单侧视野呈现技术对左右脑在顿悟相关提示信息加工中的作用的研究。例如,研究者利用单侧视野呈现技术在人们问题求解(九点连线问题)失败后将提示信息传至右脑或左脑,观察到当问题求解失败与提示呈现之间的时间延搁较长时,输入到右脑的提示信息比输入左脑的信息更加有效地促成了顿悟,这提示右脑在未能解决问题的保持以及对相关提示信息的处理中发挥着更加重要的作用^[14]。同样地, Bowden 和 Beeman^[15]在实验中先让被试解决一系列远距离联想测试(RAT)题目,然后让被试对呈现于左视野(右脑)或者右视野(左脑)的单词进行词汇命名任务。实验发现,如果词汇命名任务中出现的是前面已经做过的 RAT 题目的答案时,对于已解决问题的答案而言,呈现于左视野与呈现于右视野相比被试表现出更多的启动效应;但是对于未解决问题的答案而言,仅在呈现于左视野时表现出启动效应。Beeman 和 Bowden^[16]在进一步的实验中观察到,与 RAT 问题解决有关的词汇激活一开始会被保持在左右脑中,但随着时间的延续保持在左脑中的信息会逐渐消失,而右脑中的信息则会一直持续。在 2003 年的实验中,上述两位研究者沿用前述范式,并且在词汇命名之后让被试判断所呈现的单词是否为问题的答案并评价识别出答案时的“啊哈”体验,结果发现被试对呈现于左视野(右脑)的问题答案表现出更强的启动效应,特别是对于未解决问题的答案而言,而且“啊哈”体验评价也更高。据此他们认为保持在左右脑中的信息都会对问题解决起作用,但是保持在右脑中的信息更有可能引发被试的顿悟体验^[17]。

上述研究发现,与以往揭示右脑在发散性思维和创造性思维中的作用的研究是一致的^[18,19]。此外,研究还发现,左半球善于发现最佳唯一的答案^[20],右半球则擅长于产生多个可能的答案^[21,22];右半球在语义编码时负责对单词进行宽泛的编码,而左半球则与精细的编码相关^[23~28];在不确定条件下进行思维判断时,左侧前额叶损伤的病人在具有完整信息的项目上产生了更多的错误,而右侧前额叶损伤的病人则在信息缺失的项目上产生更多错误^[29]等。Jung-Beeman 等人^[30]的研究直接显示了右侧颞上回(superior temporal gyrus, STG)在人们产生顿悟之前表现出明显的活跃状态,但遗憾的是上述右侧 STG 的激活,是人

们在没有任何外在提示的条件下独立思考远距离联想测验(RAT)难题产生顿悟前的瞬间被观察到的,并未提供左右脑在问题求解失败和提示信息呈现中的活动状况。

本研究利用事件相关诱发电位(ERP)技术检验大脑左右半球在问题求解失败以及提示性信息呈现时所产生的信息加工是否存在差异。实验任务采用 Luo 等人^[31]使用的汉字组块破解难题,组块破解是顿悟的一种,它是将熟悉的知觉模式破解为其各组成成分,从而使这些成分可以重新进行组合,形成有意义的新的模式的过程。在实验中,研究者向被试呈现两个汉字,如‘白-排’,要求被试从右侧的汉字中取出一部分放入左侧的汉字中,使左右两边生成两个新的汉字,如将右边的‘排’字中的偏旁取出,与左边的‘白’字结合,形成‘拍-非’。其他的例子,如将‘青-话’变成‘请-舌’;‘女-宝’变成‘安-玉’;‘矢-匡’变成‘医-王’;‘三-四’变成‘王-匹’;‘干-学’变成‘平-字’;‘乃-各’变成‘及-名’;‘三-兴’变成‘兰-六’;‘大-不’变成‘天-个’等。这类问题在思维空间的界定、问题的长度和复杂程度、答案的唯一性和合理性、可用项目的数量等方面都较先前所使用的谜语问题(如文献[32])有了较大的改进,并且组块破解的难度可因破解水平的变化而有很大的不同,因此能够得到足够数量的成功解决项目和解决失败项目。

每个汉字组块破解项目分为“问题呈现与尝试解决”、“提示信息呈现与尝试解决”以及“正确答案呈现与理解”3个阶段。在第一阶段,向被试呈现需要拆解和重组的题目(如‘乙-矢’)要求他们在规定的时间内尝试解决这个问题,断定自己的问题求解尝试是成功还是失败并按键反应;在第二阶段,向被试呈现解决这个难题所需要的关键提示(如将‘乙-矢’中的‘矢’字上面的一撇和一横改变颜色),要求他们在提示的帮助下重新尝试解决问题并做相应的按键反应;在第三阶段,向被试呈现正确答案并要求他们理解和确认(图 1)。

根据被试在第一阶段的解决情况,将题目分成“解题成功”与“解题失败”两类,并分析探讨上述两类项目在第一阶段和第二阶段的两半球活动差异。对于第二阶段发生的关键提示信息加工的脑认知活动的锁时分析相对比较容易,只要锁时于提示呈现的时刻即可(参看图 1 的“事件锁时 3”)。但对于伴随成功或失败解题的脑认知过程,锁时于问题刚刚呈现

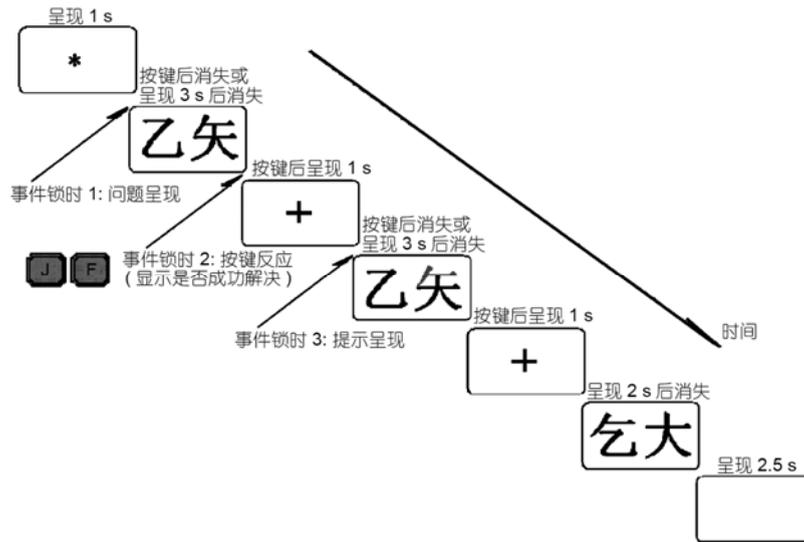


图1 实验流程

的时刻(参看图1的“事件锁时1”)显然不理想,因为在这个时刻仅能比较“解题成功”与“解题失败”两类题目的知觉编码过程的特征.为了探测伴随成功或失败解题的脑活动,本实验在第一阶段将分析的重点集中在被试针对自己的问题求解尝试是否成功作出判断,即按键反应的时刻(参看图1的“事件锁时2”),因为可以认为被试判断并确认自己的问题求解尝试已经失败的时刻标志着思维僵局的确立和酝酿过程的开始.尽管思维僵局的产生和形成过程有可能在被试看到问题并开始思索之后就早已启动,而并不一定要等到他们最终做出按键反应的时刻,但考虑到对于思维僵局产生的准确锁时是一件十分困难的事,本实验采取了一种代表性时程取样的策略,即不要求记录和分析思维僵局形成的准确时程,而仅选取一个肯定包含思维僵局特征的时间点“按键反应”作为对于这个过程的代表性取样加以分析,这对于探索两半球的活动差异而言是可以成立的.

1 实验方法

1.1 被试

20位来自中国农业大学的健康大学生被试参加了实验,平均年龄21岁,男女各半.所有被试都是右利手,视力或校正视力正常,无色盲.被试都不会使用五笔输入法,不熟悉汉字拆分任务.

1.2 实验流程

实验所用的840个汉字材料均为常用汉字,其中

一半汉字用来作为问题,另一半作为答案.被试的任务是将同时呈现的两个汉字中右侧汉字拆分一部分下来,将其添加到左侧汉字中,任务的要求是右侧汉字在被拆分后所剩下的部分仍是一个完整的汉字,左侧汉字在添加从右侧拆分下来的部分后形成一个新的汉字.右侧汉字中的任何部分(偏旁、笔画或笔画中的一部分),都可以被拆分,并且添加到左侧汉字的任意部位;被拆分下来的部件允许有小的变形但不允许被丢弃.

实验流程如图1所示.在实验中,每个问题由3部分组成,即问题解决阶段、线索提示阶段、答案呈现阶段.在问题解决阶段,屏幕中央出现两个水平排列的汉字,呈现时间为3s.被试的任务是按要求对汉字进行破解和重新组合操作;并且在规定的时间内对问题解决情况进行按键反应,如果想出答案按“j”键,没有想出答案则按“f”键.刺激在被试按键后或者问题呈现3s后自动消失,然后屏幕上会出现一个1s的注视点“+”.在线索提示阶段,问题阶段中的两个汉字呈现在屏幕上,并且右侧汉字需要拆分出来的部分用红色标出,被试需要根据提示对汉字进行拆分和重新组合的操作,即使是对于他们之前已经解决了的问题也要按照提示的思路重新再思考一遍.提示会在3s后或者被试按键后消失,被试的按键规则与问题解决阶段一致,但是如果被试解决问题的方法与屏幕上所提示的方法不一样,那么就不需要对该问题进行按键反应.在线索刺激消失之

后同样为 1 s 的注视点“+”，随后为 2 s 的答案呈现，在答案呈现期间，要求被试去理解答案但不进行任何按键。在答案呈现之后为 2.5 s 的黑屏，接着是标志着新的问题开始的“*”。实验所用的 210 个问题被随机分成 7 组，对问题的呈现顺序进行随机处理，并且按键反应在被试之间进行平衡。

1.3 ERP 记录与分析

被试坐在一个光线灰暗的屏蔽室内，额叶电极接地。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 厘米处安置的电极记录。每个电极处的头皮电阻保持在 5 k Ω 以下。滤波带通为 0.05~100Hz，采样频率为 500 Hz/导。完成连续记录 EEG 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造成的脑电电压超过 $\pm 75 \mu\text{V}$ 的脑电事件被自动剔除。实验中所分析脑电时程均为 1200 ms，以-200~0 ms 为基线。

在问题呈现与尝试解决阶段，我们根据被试的按键反应将问题分为解题成功(已解决的问题)和解题失败(未解决的问题)两类。我们分析了解题成功与解题失败两类问题在呈现后 1 s 与按键反应后 1 s 两段脑电时程之间的差异。通过分析问题呈现之后 1 s 内的脑电，我们主要想观察两类问题在编码阶段有无差异，因此，我们分析问题呈现之后的早期成分，如 P1, N1, P2，并且根据各成分的分布选择对应的电极。通过比较在被试问题解决尝试之后的脑电(按键反应后 1 s)，我们想观察未解决的问题能否引起一些独特的脑活动。通过对这两种条件下 ERP 波形的检查，我们发现这两种情况在刺激消失之后约 150 ms 在额叶引发了一个波形相对明显的正成分(P150)，这个成分在全脑的最大值位于 FCZ (148 ms)，故在进行平均波幅的分析时取最大波幅前后 30 ms (118~178 ms)进行分析。

为了研究大脑对线索提示的加工，我们分析在线索提示阶段(线索提示出现后 1 s)已解决问题与未解决问题所诱发的脑电活动的差异，如早成分(P1, 前部的 N1 和 P2)的峰值和潜伏期。在这里，我们仍然

根据该问题在问题解决阶段的解决状态将提示线索分成两类：已解决问题类的提示线索与未解决问题类的提示线索。对于线索提示阶段的已解决问题类别，我们在上一阶段已解决问题类的基础上去除了那些被试解决方法与提示方法不一致的问题(为了避免被试在看到不一致的问题解决方案时产生认知上的冲突)，而只分析那些在问题解决阶段自行解决并且与提示的解题方法相同的项目；对于线索提示阶段的未解决问题类的项目，我们分析了在问题解决阶段未能解决的项目而不管在提示的帮助下是否能够解决。看了提示之后解决和看了提示之后仍未解决两类问题的差别主要体现在对提示信息加工之后，如怎样有效利用提示等，而在早期信息加工阶段两者在心理过程是没有差别的，同时因为我们主要关心对关键提示信息的加工，所以我们在分析时将这两类项目合并来研究对先前解决失败问题的提示信息的加工。

对问题呈现和线索提示呈现后引发 ERP 的早期成分，如 P1, N1, P2 进行分析，并且根据各成分的分布选择对应的电极。在问题解决尝试之后观察到的 P150，因为其主要分布在额区，所以选择与 P2 相同的电极点进行分析。P1 主要分布于枕区，故选择左右枕区的各 4 个电极：PO3, PO5, PO7, O1(左半球), PO4, PO6, PO8, O2 (右半球)；对于前部的 P150, N1, P2，选择左右额区的各 9 个电极：F1, F3, F5, FC1, FC3, FC5, C1, C3, C5(左半球), F2, F4, F6, FC2, FC4, FC6, C2, C4, C6(右半球)。对潜伏期和波幅分别进行三因素重复测量方差分析(ANOVAs)：问题状态(已解决与未解决) \times 电极位置(左半球与右半球) \times 电极点，同时采用 Greenhouse-Geisser 法矫正 P 值。

2 实验结果

2.1 行为结果

在问题解决阶段，已解决问题与未解决问题的项目数分别为 132.8 (SD = 29.16) 和 45.2 (SD = 25.85)。已解决问题的平均反应时为 1.73 s (SD = 0.31)，未解决问题的平均反应时为 2.21 s (SD = 0.40)。两种情况下的项目数与平均反应时的差异均达到显著水平($P < 0.001$)。对于没有按键反应的问题，我们没有进行分析。

2.2 ERPs 结果

对于问题呈现阶段的早期 ERP 成分(图 2)的波峰

潜伏期和波幅在已解决问题与未解决问题之间没有发现显著的条件主效应以及交互作用。在问题解决尝试之后的ERP波形中,我们主要分析了P150成分。

在图3中我们可以看到,右侧额叶在未解决问题的情况下引发一个更大的P150,而左侧额叶在已解决问题的情况下引发了更大的波幅。统计分析的结果表

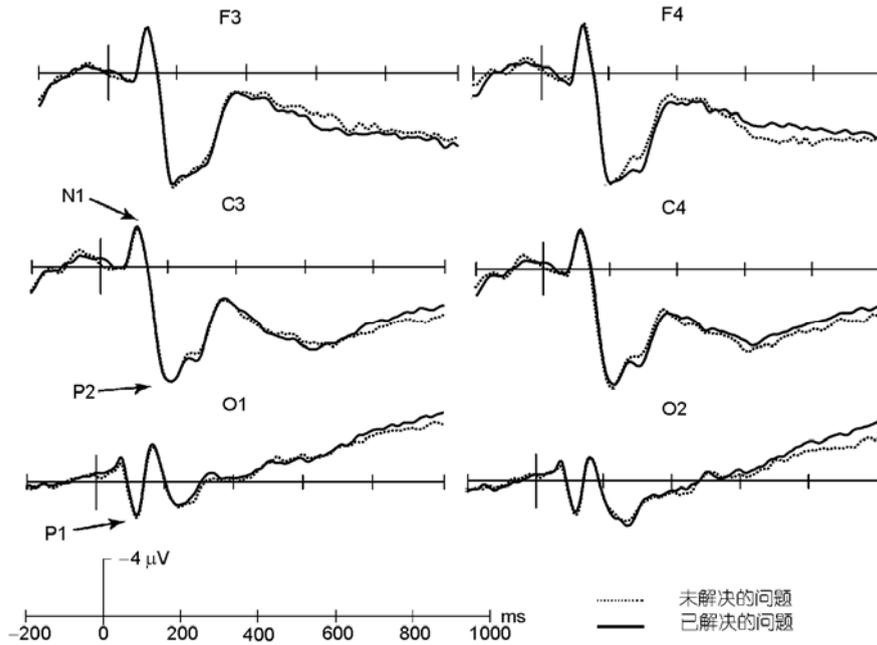


图2 问题解决阶段已解决问题与未解决问题的ERP比较
实线代表已解决问题,虚线代表未解决问题

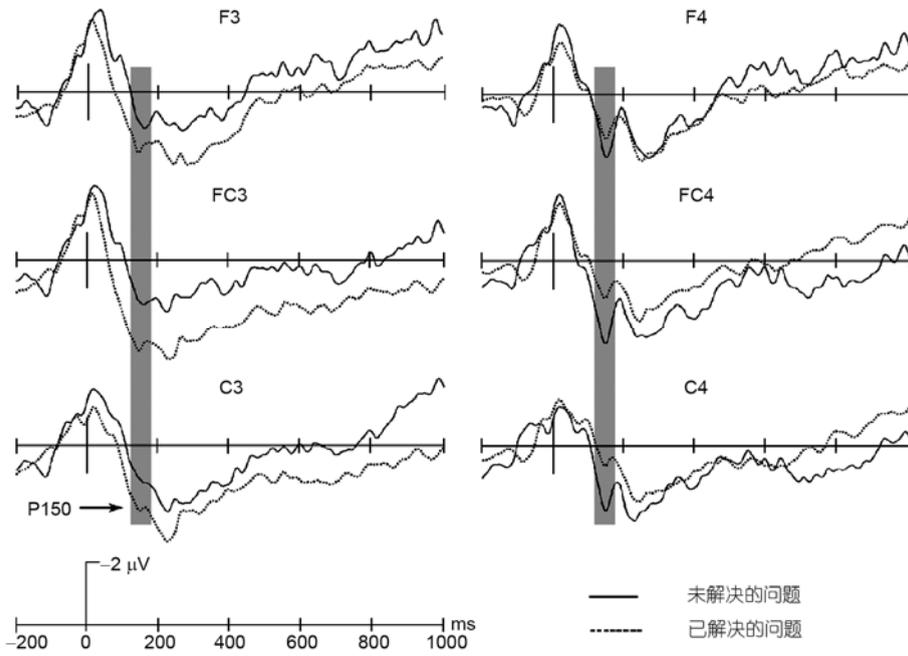


图3 问题消失之后的ERP
灰色标注的部分即为P150平均波幅所分析的时间段

明 P150 的平均波幅(118~178 ms)的问题状态(解决与未解决)与半球(左半球与右半球)主效应不显著,但交互作用显著($P < 0.001$)。简单效应分析表明未解决的问题在右侧额叶引发了更大的 P150 ($P < 0.05$),而已解决的问题在左侧额叶引发了更大的 P150 波幅($P < 0.001$)。

为了考察难度和反应时对 P150 波幅的影响,我们将解题成功的项目按照其反应时的长短分为短、中、长三组(具体方法是将每个被试的所有解题成功的项目按照其反应时的长短排序并分为短、中、长三个等份进行分析)。结果发现 P150 在 118~178 ms 的时间窗内的平均波幅的左右半球主效应和条件(3 种不同的反应时)主效应都是显著的($P < 0.001$),从图 4 左边的 ERP 波形图中我们也可以观察到左侧额叶的 P150 波幅更大。同时还发现反应时长短不同组与半球的交互作用($P < 0.01$),简单效应的分析仅发现在解决问题花费了中等时间和最长时间的两组的左侧活动优势更加明显($P < 0.001, P < 0.001$),未发现在右侧额叶难的已解决问题比容易的已解决问题引发更大的 P150($P = 0.114$),相反从图 4 中可以看到容易的问题引发了比困难的问题更大的右侧 P150 波幅。

因为未解决的问题与已解决的问题之间的反应时差异也是显著的($P < 0.001$),所以反应时的不同可能会影响右侧额叶的 P150 波幅。对已解决问题中反

应时最长组和未解决问题的反应时进行比较发现,已解决问题中反应时最长组的反应时(2.31 s)与未解决问题的反应时(2.23 s)之间的差异达到了边缘显著 ($P = 0.097$)。如果反应时是右侧 P150 的影响因素的话,那么前者的 P150 波幅就应该大于未解决问题的 P150 波幅。在两组问题之间进行 P150 波幅的方差分析没有发现条件或者半球的主效应,但发现了明显的交互作用($P < 0.001$);简单效应分析表明在右侧额叶未解决问题引发了更大的 P150 波幅,如图 4 右边的 ERP 波形所示。

对线索提示阶段的 ERP 早期成分(图 5)的分析发现, P1 和 N1 的各种统计分析结果均不显著, P2 波幅的问题状态(解决与未解决)与电极位置(左半球与右半球)交互效应显著($P < 0.05$),但主效应不显著。P2 波幅的简单效应分析表明未解决的问题在右侧额叶引发了更正的 P2($P = 0.086$),而已解决的问题在左侧额叶引发了更正的 P2 波幅($P < 0.05$);同时在右半球未解决的问题与已解决的问题相比引发了更大的 P2 波幅($P < 0.05$)。

对已解决问题的提示而言,因为先前已经解决所以识别可能会更容易;对于未解决问题的提示线索,被试之前并不知道被标记的提示部分所以识别上的难度相对大一些。那么,是不是对提示信息识别的难度不同导致了未解决问题的提示信息在右侧额

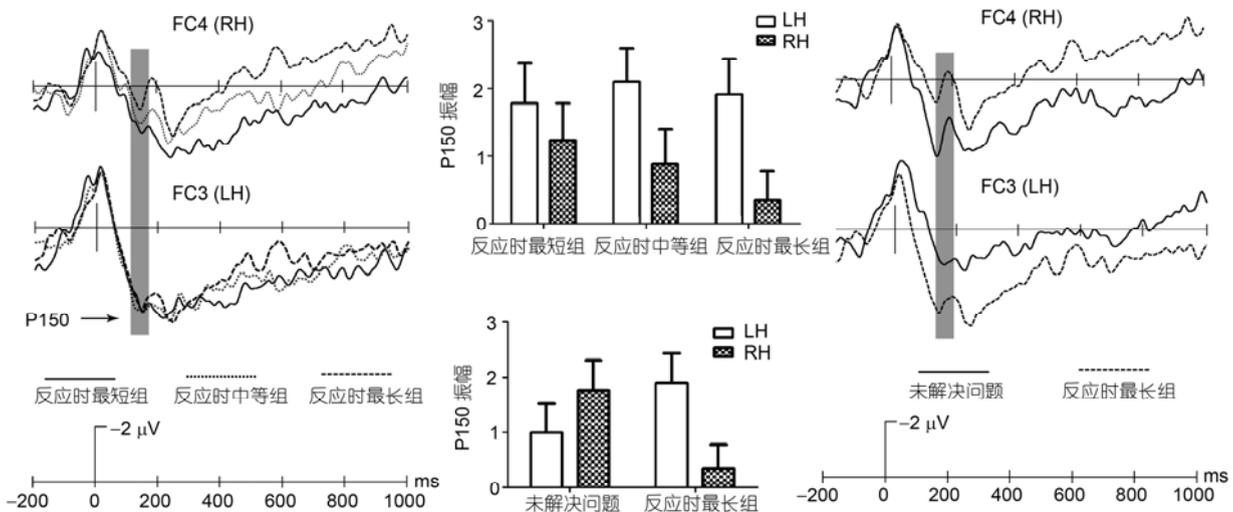


图 4

图中左边的 ERP 波形图为问题解决尝试之后的不同反应时条件下已解决问题之间的比较,中间上图为不同反应时条件下已解决问题之间的 P150 平均波幅比较。中间下图为未解决问题与已解决问题中反应时最长的一组的 P150 平均波幅的比较,右侧的为其 ERP 波形图

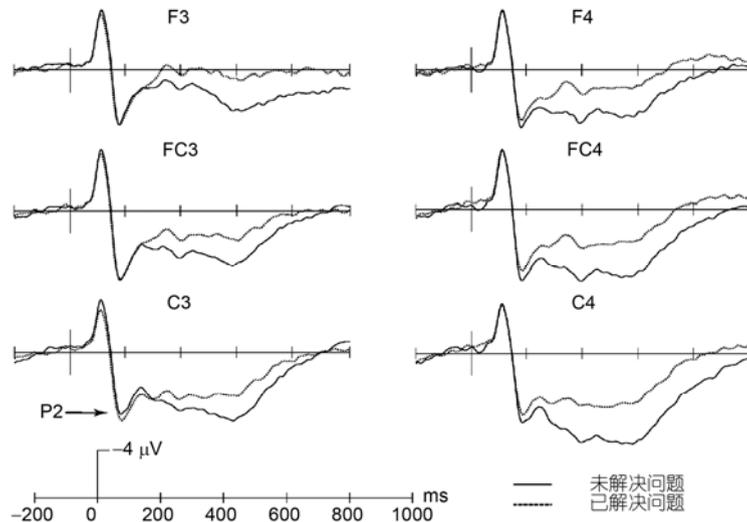


图5 线索提示阶段的ERP

叶引发了更大的P2波幅呢?为了回答这个问题,我们在两类失败项目之间进行了更进一步的比较:一类是在看到提示之后能够成功解决的项目,而另一类则是看到提示之后仍然不能解决的项目,相对于在提示帮助下成功解决的问题,那些在看了提示之后仍然无法解决的问题在难度上无疑会更大,因此,如果经提示仍然无法解决的问题在右侧比经提示解决出来的问题引发更大P2,我们就有理由认为未解决问题的提示信息在右侧额叶引起的更大的P2波幅是由提示信息的识别难度导致的.统计分析发现经提示仍然无法解决的问题与经提示解决出来的问题仅在P2的潜伏期上存在差异($P < 0.05$),表明前者在提示信息的识别上可能要花费更长的时间,但是波幅不存在差异,如图6所示.

3 讨论

本实验采用汉字为实验材料,研究问题解决尝试过程和问题提示出现时的脑活动的半球差异.在问题呈现和尝试求解阶段,解题成功和解题失败在左右半球表现出相反的趋势,失败的问题求解在右半球激发了更大的P150成分,而成功的问题解决却在左半球引起了更大的P150;考虑到在问题编码阶段(即将分析的起始点锁定在问题呈现的时刻)两类问题的脑活动并不存在差异,可以推断成功和失败两类项目在左右半球的差异并不是由这两类问题的视觉刺激和编码的差异造成的.其次,在线索提示出

现时,刺激引发的P2波幅出现了问题条件与大脑半球的交互作用,进一步分析结果表明,左脑的P2波幅并没有受到问题解决成败的影响,而右脑的P2波幅在未解决问题的情况下有增强的现象.

针对在问题呈现和尝试求解阶段解题成功与解题失败的项目在按键之后所表现出的左右半球活动的相反趋势,我们首先来讨论这种现象是否是由于其他因素(比如难度以及反应时)造成的,因为解题失败的项目在难度及反应时上可能均大于解题成功的项目.通过对已解决问题不同难度之间的P150波幅进行比较,我们发现左侧额叶在不同难度条件下没有出现P150波幅的差别,而右侧额叶的P150波幅却表现出难度相关的趋势,从图4中我们可以看到容易的问题引发了比困难的问题更大的右侧P150波幅.因此,我们可以基本排除问题难度对右侧额叶更强P150的解释,同时结果还一致地支持左脑在处理已解决问题信息方面具有优势.通过对反应时相当的已解决问题与未解决问题的P150波幅比较,我们发现在右侧额叶未解决问题引发了更大的P150波幅,因此我们认为反应时并不是右侧额叶P150的影响因素.

在排除了问题难度和反应时对右侧额叶P150波幅的可能影响后,我们进一步推测已解决问题和未解决问题之间P150的半球差异可能反映了两类问题在解题尝试之后大脑对其不同的认知加工.对于已经解决的问题而言,左半球的P150优势可能反映了

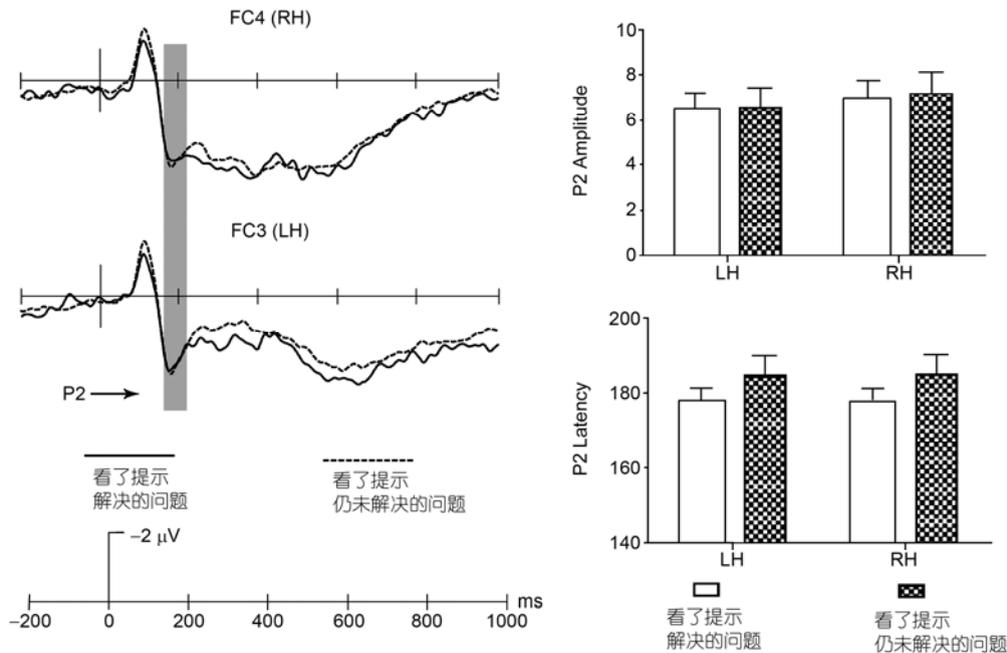


图 6 线索提示阶段看了提示解决的项目和看了提示之后仍然未能解决的项目在 P2 的波峰潜伏期和幅面上的比较

工作记忆方面的加工，因为 du Boisgueheneuc 等人^[33]研究发现左侧额上回(superior frontal gyrus, SFG)在工作记忆中起着不可或缺的作用。他们在实验中通过采用改进的 n-back 任务发现左侧额上回的损伤会严重影响被试在工作记忆测验中的表现。同样，在当前的实验中，考虑到被试已经成功解决了问题，我们认为这种脑活动可能反映了被试自主清除保持在工作记忆中的与问题解决相关信息的过程。

对于未解决的问题，右侧额叶区观察到的 P150 可能是由解决问题失败所导致的一系列认知加工(如对未解决问题的信息进行记忆编码或者保持等)引起的。首先，机会同化假设认为在问题解决到达僵局时未解决问题的相关细节会被保持在长时记忆中。其次，在一个需要在两个不同任务之间转换的实验中，Rothermund^[7]发现那些给予负反馈的问题的相关信息对被试的注意转换有更大的干扰作用。因为这些反馈是在被试解决问题之后才给予的，因此我们推测对于负反馈的问题的保持编码可能是发生在被试知道自己解决问题尝试的结果之后。最后，在 Bowden 和 Jung-Beeman^[15-17]的实验中，也发现右脑对未解决问题相关信息保持时间比左脑更长。在我们的实验中，当被试进行按键反应的时候，就已经确定了问题解决的结果，所以对于未解决的问题可能

会引发脑内自动的记忆加工过程。综合上面的证据，我们认为顿悟中僵局效应很可能是由此时所进行的记忆编码所导致的而不是在问题解决过程中被试努力程度的差异造成的。然而，情节记忆的脑成像研究都一致地观察到左侧前额叶在记忆编码过程中有明显激活而右侧前额叶在记忆提取时有强烈激活，这似乎表明我们的实验结果认为右侧额叶的 P150 反映对未解决问题的编码的假设与其他脑成像实验观察到的现象相违背，但是如果仔细研究 Burgess 和 Shallice^[34,35]提出的情节记忆提取模型就会发现我们的假设也是有道理的。在他们的模型中，回忆线索和基于这些线索进行的回忆提取是回忆过程中基本的组成部分。Rugg 和 Wilding^[36]同样提出了情节记忆的提取过程是回忆线索和记忆痕迹之间的相互作用。在这里，前人理论中的回忆线索与我们实验中未解决问题的相关信息在很大程度上具有一致性，那么我们可以更进一步地推测右侧额叶可以根据需要生成这些回忆线索并且将其保存起来，以前的研究之所以没有发现该现象是因为还没有研究来探讨未解决问题的记忆的保持过程。结合以上的实验证据，我们有理由认为右侧额叶的 P150 反映了对未解决问题的相关信息进行编码生成回忆线索，而这种过程应该会对未解决问题的最终成功解决起到促进作用。

在实验的线索提示阶段,通过比较未解决问题与已解决问题两种条件,发现 P2 波幅在问题类型和半球之间出现交互作用.条件内部的简单效应分析发现已解决问题的提示信息在左侧额叶引起了较大的 P2 波幅,未解决问题的提示信息在右侧额叶引起了更大的 P2 波幅;半球内部的简单效应分析发现在右半球未解决问题的提示信息比已解决问题的提示信息引发了更大的 P2 波幅,而在左半球两种条件下没有发现差异.前人的研究发现 P2 主要与目标识别的注意增强有关,如 Luck 和 Hillyard^[37]在视觉搜索任务中发现,当刺激中含有目标刺激的属性时,P2 的波幅就会变得更大一些;Potts^[38]在视觉 Oddball 任务中,他发现 P2 可以作为刺激评估操作的指标,当刺激为任务相关的刺激(即目标刺激)时 P2 就会变大,而与具体的刺激无关;此外,Potts 等人^[39]在视觉 Oddball 任务中还发现目标(任务相关的信息)的 P2 波幅比标准刺激的 P2 波幅更大,但小概率的分心物(和目标刺激有着相同的出现概率)的 P2 波幅则没有出现类似的变化.因此,在我们的实验中观察到的 P2 可能同样反映了与特定目标识别有关的心理活动.

在提示呈现阶段对解决成功和解决失败项目加以比较时,我们可能需要考虑两类项目之间在提示信息识别难度上的差异,因为先前已解决问题的提示信息比未解决问题的提示信息的识别难度可能会大一些.通过对经提示仍然无法解决的问题与经提示解决出来的问题的 P2 波幅分析,我们并没有发现在 P2 的波幅上两者会存在差异,但是却发现了经提示仍然无法解决的问题的 P2 潜伏期很长.这表明我们观察到的 P2 波幅的差异并不是识别难度的一个反应指标.我们认为该右侧化的 P2 波幅差异表明大脑右半球在遇到问题相关的信息时会根据问题是否已经解决而选择不同的处理方式,而左半球在处理与问题相关信息的时候不会受到问题是否已经解决的影响.在已解决问题的提示出现时,左脑表现出的 P2 波幅优势体现了左脑在处理与当前任务相关信息时的加工优势,特别是考虑到左脑在工作记忆中不可缺少的作用.在未解决的问题的提示出现时,左脑同样负责处理与当前任务的有关的信息,所以在两种条件下并没有观察到左半球 P2 波幅的差异.在未

解决问题的提示出现时,我们推测右脑显著增大的 P2 波幅反映了其对未解决问题的相关信息识别,这种识别也可以看作是一种目标识别,只是这种目标识别并不是与当前的任务相关而是与被试个人需要有关(由于未能解决问题而产生).在前人关于顿悟的半球差异研究中,同样发现了右脑在顿悟相关提示信息加工中的优势作用,如将失败问题的提示信息传至右脑时会更加有效地促成顿悟^[14,17].

从上面的讨论中,我们推测对未解决问题的信息加工可能是左右脑同时进行的,那么右脑对信息的无意识加工是否会影响人们对当前任务的加工呢?通过对两种条件下 P2 潜伏期的分析,我们没有发现任何差异,因此左右脑在问题出现的早期阶段会根据各自的需要相对独立地进行信息加工处理.这时我们可能又会提出疑问为什么左脑自主控制的信息加工与右脑无意识控制的加工相比没有优势呢?我们认为一个可能的原因是未解决问题的相关信息在右脑已经处于相对较高的激活状态.因为 Beeman 和 Bowden^[15,16]通过半视野呈现的方式发现问题解决相关信息的激活开始会保持在两半球中,但是左脑中保持的信息会迅速消退而右脑中的信息会保持较长的时间.

4 结论

本研究对顿悟问题解决过程中的尝试失败之后和提示信息出现时的大脑左右半球活动差异进行了尝试性的分析.与以往认为右半球对促进顿悟类问题解决的信息更敏感的研究一致^[14-17],当前的事件相关电位分析发现,那些之前没有解决的问题在提示出现时表现出 P2 在右半球的优势分布.更有趣的是,当我们回溯性地对问题解决阶段被试按键反应后的 1000 ms 分析时,我们发现在尝试失败之后,对于未解决的问题,P150 在右半球的平均波幅显著大于左半球.这两个结果一起,提示了蔡格尼克效应的存在;即被试尝试解决问题的失败,可能引起大脑右半球对问题失败信息的持续加工(这种加工可能是无意识的),这种持续加工使右半球对与问题解决相关的信息更加敏感^[14-17].

致谢 感谢罗非、郭春彦和李娟老师以及匿名审稿人提出宝贵的修改意见,同时感谢李琦和孙世月同学在文章准备过程中的帮助.

参考文献

- 1 Zeigarnik B. Uber das Behalten von erledigten und unerledigten Handlungen. *Psychologische Forschung*, 1927, 9: 1—85
- 2 Lewin K. A dynamic theory of personality. McGraw-Hill, 1935, 616: 1951—1952
- 3 Lewin K. Vorsatz, wille und bedürfnis. *Psychol Res*, 1926, 7: 330—385
- 4 Goschke T, Kuhl J. Remembering what to do: Explicit and implicit memory for intentions. In: Brandimonte M, Einstein G O, McDaniel M A, eds. *Prospective Memory: Theory and Applications*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1996. 53—91
- 5 Seifert C, Patalano A. Memory for interrupted tasks: The Zeigarnik effect revisited. In: *Proceedings of the Thirteenth Annual Cognitive Science Society*, 1991
- 6 Shah J Y, Kruglanski A W. Priming against your will: How accessible alternatives affect goal pursuit. *J Exp Soc Psychol*, 2002, 38: 368—383
- 7 Rothermund K. Automatic vigilance for task-related information: Perseverance after failure and inhibition after success. *Mem Cognit*, 2003, 31: 343—352
- 8 Klinger E. The contents of thoughts: Interference as the downside of adaptive normal mechanisms in thought flow. In: Pierce G R, Sarason B R, Sarason I G, eds. *Cognitive Interference: Theories, Methods, and Findings*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1996
- 9 Patalano A L, Seifert C M. Memory for impasses during problem solving. *Mem Cognit*, 1994, 22: 234—242
- 10 Seifert C M, Meyer D E, Davidson N, et al. Demystification of cognitive insight: Opportunistic assimilation and the prepared-mind perspective. In: Sternberg R J, Davidson J E, eds. *The Nature of Insight*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995. 65—124
- 11 Meyer D E, Yaniv I, Davidson N. Spreading activation and memory marking: Mechanisms for metacognition and mental incubation. In the meeting of the Psychonomic Society, Chicago, November, 1988
- 12 Yaniv I, Meyer D E. Activation and metacognition of inaccessible stored information: Potential bases for incubation effects in problem solving. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 1987, 13: 187—205
- 13 Yaniv I, Meyer D E, Davidson N S. Dynamic memory processes in retrieving answers to questions: Recall failures, judgments of knowing, and acquisition of information. *J Exp Psychol Learn Memory Cogn*, 1995, 21: 1509—1521
- 14 Fiore S M, Schooler J W. Right hemisphere contributions to creative problem solving: Converging evidence for divergent thinking. In: Beeman M, Chiarello C, eds. *Right Hemisphere Language Comprehension: Perspectives from Cognitive Neuroscience*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1998. 349—371
- 15 Bowden E M, Beeman M J. Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems. *Psychol Sci*, 1998, 9: 435—440
- 16 Beeman M J, Bowden E M. The right hemisphere maintains solution-related activation for yet-to-be-solved problems. *Mem Cognit*, 2000, 28: 1231—1241
- 17 Bowden E M, Jung-Beeman M. Aha! Insight experience correlates with solution activation in the right hemisphere. *Psychon Bull Rev*, 2003, 10: 730—737
- 18 Ornstein R E. *The psychology of consciousness*. 2nd ed. Oxford, England: Harcourt Brace Jovanovich, 1977. 255
- 19 Springer S P, Deutsch G. *Left Brain, Right Brain: Perspectives from Cognitive Neuroscience*. 5th ed. A series of books in psychology. New York, NY: W H Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co. 1998
- 20 Czerwinski M, Horvitz E, Wilhite S. A diary study of task switching and interruptions. New York: ACM, 2004. 175—182
- 21 Brownell H H. Appreciation of metaphoric and connotative word meaning by brain-damaged patients. In: Chiarello C, ed. *Right hemisphere contributions to Lexical Semantics*. New York: Spring-Verlag, 1988. 31
- 22 Tucker D M, Williamson P A. Asymmetric neural control systems in human self-regulation. *Psychol Rev*, 1984, 91: 185—215
- 23 Beeman M, Friedman R B, Grafman J, et al. Summation priming and coarse semantic coding in the right hemisphere. *J Cogn Neurosci*, 1994, 6: 26—45
- 24 Burgess C, Simpson G. Hemispheric processing of ambiguous words. *Brain Language*, 1988, 33: 86—104
- 25 Chiarello C, Burgess C, Richards L, et al. Semantic and associative priming in the cerebral hemispheres: Some words do, some words don't ... sometimes, some places. *Brain Lang*, 1990, 38: 75—104
- 26 Faust M, Chiarello C. Sentence context and lexical ambiguity resolution by the two hemispheres. *Neuropsychologia*, 1998, 36: 827—835
- 27 Faust M E, Gernsbacher M A. Cerebral mechanisms for suppression of inappropriate information during sentence comprehension. *Brain Lang*, 1996, 53: 234—259
- 28 Koivisto M. Time course of semantic activation in the cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*, 1997, 35: 497—504
- 29 Goel V, Tierney M, Sheesley L, et al. Hemispheric specialization in human prefrontal cortex for resolving certain and uncertain inferences. *Cereb Cortex*, 2007, 17: 2245—2250
- 30 Jung-Beeman M, Bowden E M, Haberman J, et al. Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biol*, 2004, 2: E97
- 31 Luo J, Niki K, Knoblich G. Perceptual contributions to problem solving: Chunk decomposition of Chinese characters. *Brain Res Bull*, 2006, 70: 430—443
- 32 Luo J, Niki K. Function of hippocampus in “insight” of problem solving. *Hippocampus*, 2003, 13: 316—323

- 33 du Boisgucheneuc F, Levy R, Volle E, et al. Functions of the left superior frontal gyrus in humans: a lesion study. *Brain*, 2006, 129(Pt 12): 3315—3328
- 34 Burgess P W, Shallice T. Confabulation and the control of recollection. *Memory*, 1996, 4: 359—411
- 35 Shallice T, Burgess P. The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 1996, 351: 1405-1411; discussion 1411—1402
- 36 Rugg M D, Wilding E L. Retrieval processing and episodic memory. *Trends Cogn Sci*, 2000, 4: 108—115
- 37 Luck S J, Hillyard S A. Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 1994, 31: 291—308
- 38 Potts G F. An ERP index of task relevance evaluation of visual stimuli. *Brain Cogn*, 2004, 56: 5—13
- 39 Potts G F, Liotti M, Tucker D M, et al. Frontal and inferior temporal cortical activity in visual target detection: Evidence from high spatially sampled event-related potentials. *Brain Topography*, 1996, 9: 3—14

Zeigarnik effect in Insight problem solving: Hemispheric difference in brain activities following problem solving and during hint presentation

TANG Xiaochen^{1,2}, PANG Jiaoyan^{1,2} & LUO Jing^{1,3}

¹ Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

² Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³ Learning & Cognition Lab, Capital Normal University Beijing, 100083, China

People tend to exhibit enhanced memory performance for the unfinished tasks relative to the finished ones, which known as the Zeigarnik effect. Consistently, the impasse state in insightful problem solving were believed to play an important role in maintaining the problem in one's mind and in catching the critical clue to overcome the main obstacles. More importantly, through hemi-visual field presentation technology, studies on insight found the keynotes for the unsolved puzzle could be more efficient in catalyzing a breakthrough when presented to the left-visual field (i.e., the right hemisphere) than to the right-visual field, especially when there was a temporal delay between the disappearance of the puzzle and the presentation of keynotes. This observation implied that the right hemisphere, relative to the left one, might play a more important role in keeping the information of the unsolved problem online and might be more ready in processing the related clue for that problem. In order to testify this hypothesis, we compared the Event-Related Potentials (ERPs) between the solved and unsolved insightful chunk decomposition problems during (a) the moment when the subjects pressed a key to indicate whether or not they could solve the problem by themselves before seeing any external hint, and (b) the moment when subjects were given the hint. The ERPs results showed that, during the moment of subjects' confirmation of their successful or unsuccessful problem solving, the unsolved problems were accompanied with a more positive P150 over the right frontal cortex, whereas the solved ones exhibited a more positive P150 over the left side. Consistently, during the moment of hints presentation, the hints to the unsolved problems also elicited a more positive P2 over the right hemisphere, whereas the the hints to the solved problems elicited a more positive P2 over the left side. These results confirmed the hypothesis that, after the failure in insight problem solving, the right hemisphere might be more positive in preserving the unsolved problem in mind and be more responsive to the external hint for problem solving.

Zeigarnik effect, insight problem solving, hemispheric difference, Chinese character chunking task, Event-related potentials (ERP)

doi: 10.1360/972009-1107