P300与创造性组块分解

张忠炉^①, 张嘉卉^①, 宋欣欣^①, 窦皓然^①, 杨文龙^①, 于龙^①, 雷怡^{①②}, 李红^{①②*}

① 辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029;

② 深圳大学心理与社会学院, 深圳 518060

* 联系人, E-mail: lihongwrm@vip.sina.com

2016-01-21 收稿, 2016-03-08 修回, 2016-03-09 接受, 2016-07-07 网络版发表

国家自然科学基金(31100740, 31271088, 30370488)和教育部人文社会科学重点研究项目(11JJD190002)资助

摘要 创造性在人类发展中扮演重要角色, 而顿悟问题解决则是创造性的关键方面. 组块分解是通达创造性顿悟的一种机制. 其假设认为组块分解的难度取决于被分解组块的紧密性: 紧组块涉及移除无意义的知觉元素, 而松组块涉及移除有意义的知觉元素, 紧组块分解比松组块分解更难. 考虑到组块分解也受其他因素如空间关系的影响, 基于元素类型假设的相关研究并没有排除这些因素. 本研究在控制了混淆因素后检验组块分解的认知神经机制, 特别是在控制了空间关系这一混淆因素后, 基于元素类型的组块分解是否能引发P300效应. 被试在两种条件下从一个源汉字中移除笔画(紧组块条件)或者汉字(松组块条件)从而得到另外一个汉字. 保持两组条件下源汉字中的被移除部件和剩余部件都是上下关系, 同时记录这个过程产生的事件相关电位. 行为结果显示, 紧组块分解比松组块分解耗时更长. 脑电结果显示, 基于元素类型的组块分解引发了P300效应: 紧组块条件比松组块条件引发了更大波幅的P300. 研究提示, 元素类型是组块分解的困难源之一并且组块分解可能涉及知觉转换过程中的表征更新.

关键词 创造性, 组块分解, 元素类型, P300, 汉字

一般而言, 存在两种类型的问题解决方式: 一种是分析式的; 另一种是创造性的或顿悟式的^[1,2]. 前者指的是逐步地、分析式地、有意识有计划地导向答案的过程. 而顿悟问题解决则不同于常规问题解决, 如在顿悟之前会陷入不知所措的困境, 而答案则来得突然和不可预期, 同时还会伴有情感体验^[1-3]. 顿悟区别于常规问题解答的一个最重要的特点是, 它是个体通过对问题表征进行重构或者重新组织从而突然获得答案^[4,5].

组块分解是一种实现重构或者重新组织的顿悟关键机制, 它指的是将知觉组块分解为更小的成分, 从而有利于问题解决^[4]. 更细致地说, 组块分解之后的元素可以用于和其他元素重新组合^[4,6-9]或者产生新的产品^[10-12]. 根据组块分解理论, 组块分解的难

易取决于组块紧密性, 而组块紧密性则由被移动或者移除的元素的类型决定^[4,7]. 具体而言, 在紧组块里, 被移除的元素是个体不熟悉的、无意义的知觉模式; 而在松组块里, 被移除的元素是个体熟悉的有意义的知觉模式. 以经典的顿悟材料——火柴棒问题为例, 解答者需要通过移动一根火柴棒使方程式“ $XI = III + III$ ”成立, 他们需要将组块“X”分解为“l”和“v”, 这样它们可以重新组成“V”, 从而形成一个有效的等式“ $VI = III + III$ ”. 在这个问题情形中, 被移动的元素“l”或者“v”是无意义成分, 因此“X”是一个紧组块. 而在另外一个问题情形中如“ $VII = II + III$ ”, 解答者需要将组块“VII”分解为“VI”和“I”, 当“I”和方程另一边“II”结合为“III”时, 方程“ $VI = III + III$ ”成立. 由于被移动的元素“I”本身也都是有意义的组块, 因此这

引用格式: 张忠炉, 张嘉卉, 宋欣欣, 等. P300与创造性组块分解. 科学通报, 2016, 61: 2494–2501

Zhang Z L, Zhang J H, Song X X, et al. P300 and creative chunk decomposition (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 2494–2501, doi: 10.1360/N972015-01298

里的“Ⅶ”为松组块。根据组块分解假设的预测,紧组块比松组块更难分解,这得到了广泛的验证^[4,6-8,13]。

近年来,罗劲团队^[7,8,11,12]以汉字为材料对组块分解的认知神经机制展开了研究,他们发现,组块分解激活了额区、顶区、枕区等广泛的区域。基于组块分解的原假设——组块分解的难度取决于被移动或者移除元素的类型,他们区分了两种水平的组块分解:笔画水平(stroke-level)和偏旁部首水平(radical-level)。由于笔画不携带意义可视为无意义的元素,而偏旁部首携带语义和拼音信息为有意义的元素。因此,笔画水平的分解为紧组块的分解而偏旁部首水平的分解为松组块的分解。在Luo等人^[7]的研究中,被试分别在紧组块和松组块两个条件下完成汉字转换任务。在紧组块条件下,被试需要移动无意义的笔画使任务成立(如移动两点使“干、学”转换成两个新汉字,答案为“平、字”),而在松组块条件下,被试需要移动相对有意义的偏旁部首来完成任务(如“由、江、油、工”)。通过给予提示如在被移动的笔画或者偏旁部首上标红可以提示被试快速找到答案完成组块分解。研究发现,早期的视觉皮层(如双侧楔叶和舌回)在组块分解过程中呈现负向激活而高级视觉皮层(包括枕下回和双侧枕中回)则呈现正激活,同时也观察到额区和顶区的激活。运用同样的范式,Wu等人^[8]根据被试的按键反应记录了组块分解时刻的alpha活动的变化,他们发现,组块分解在枕顶区引发了一个强的alpha活动,提示了早期视觉信息的减弱有益于组块分解。

为了更直接、准确地探测到组块分解过程的神经机制,研究者还开发了汉字相减任务^[11,12]。同时呈现源汉字和被移除的部分(笔画或者偏旁部首),让被试判断剩余部分是否为有效汉字(如“些-二”答案为“此”)。他们的研究同时考查了组块熟悉性和知觉紧密性在组块分解任务中的作用。Wu等人^[12]研究了视觉通路的有效连接在组块分解过程中的作用,他们发现组块熟悉性和知觉紧密性在背侧和腹侧的视觉通路连接以及从左颞下回到左顶上沟的有效连接中具有联合作用。Wu等人^[11]则发现,熟悉组块的分解较之不熟悉组块的分解在前额皮层引发了更大激活,同时在事件相关电位上引发了更大的P3a,而紧组块分解较之松组块分解在额-顶网络引发更大的激活,同时在顶区伴随了更大的晚正成分(late positive component, LPC),提示组块分解涉及视觉空间加工。

他们还发现,组块熟悉性和组块紧密性的交互效应,也即更熟悉且更紧密的组块最难分解。最近Huang等人^[10]利用同样的范式研究了创造性组块分解过程中的新异性和有效性的神经基础。新异性加工被操作性定义为组块分解发生在笔画水平还是偏旁部首水平,而有效性则被操作性定义为判断剩余部分是否为真实有效的汉字。通过对比他们发现,新异性加工涉及视觉空间加工,程序性记忆功能区(尾状核)以及奖赏区(黑质)的活动等,而有效性则受陈述性记忆功能区(海马)以及情绪唤醒区(杏仁核)的调节。综上,组块分解可能既包含了视觉空间加工也涉及新异性加工。

然而正如近期研究显示的,组块分解不仅受元素类型影响,也受其他因素如交错关系的制约^[9]。例如,火柴棒问题中“X”的分解既受无意义元素类型的影响也受元素间的空间关系(交错关系)的影响。类似的,汉字分解任务中的“王”分解为“三”和笔画竖,这个过程也未将二者区分开。由此可见,前人尽管研究了基于元素类型假设的组块分解的认知神经机制,但由于没有完全控制交错关系这个混淆因素,因此其研究结果是否验证了原假设值得商榷。

本研究的主要目的是检验基于元素类型假设的组块分解的电生理机制。Wu等人^[11]已经运用汉字相减任务研究了组块分解的电生理机制。他们的研究表明,组块分解引发了晚正成分(LPC/P300),并且在顶区附近达到最大,提示组块分解涉及视觉空间加工^[11]。考虑到前人研究的局限,本研究从以下方面做出改进:(i)紧组块条件和松组块条件下源汉字中的被移除元素和剩余元素之间的空间关系同一化(如都是上下结构);(ii)紧组块条件下,被移除元素为非汉字(或者笔画)水平,而松组块条件下被移除元素为汉字水平。由于汉字比偏旁部首(radical)具有更显著的意义,因此两条件下的组块紧密性具有更显著的对比;(iii)本研究在Wu等人^[11]的实验范式的基础上将被移除元素和源汉字单独呈现而不是同时呈现,这样可以减小水平眼动的干扰。本研究检验在控制干扰变量之后,基于元素类型的组块分解是否能引发类似的P300效应。

1 研究方法

1.1 被试

26名志愿者(12位男性;平均年龄:23.46±2.49)参加

本次实验. 所有被试的母语都为汉语、右利手、视力或者校正视力正常且报告没有大脑损伤或者精神疾病史. 实验前签订知情同意书, 实验后得到适当的报酬.

1.2 材料

汉字具有空间结构, 被认为是理想的知觉组块材料^[14-17], 已经被用于研究知觉组块分解的神经机制^[7,8,10,11]. 本研究收集了120个常见汉字作为源汉字. 所有的源汉字都可以拆分为两个汉字或者笔画集合和一个汉字. 根据被移除汉字部件的类型, 80个源汉字被均等分在两个条件里: 紧组块条件和松组块条件(图1). 具体而言, 在紧组块条件下, 40个源汉字中被移除的部件仅为笔画而不构成汉字, 如源汉字“买”包含被移除部分(横折)和剩余部分“头”; 在松组块条件下, 40个源汉字中被移除的部件都是汉字, 如源汉字“夺”包含被移除部分“大”和剩余部分“寸”. 两个条件下所有源汉字中的被移除部分和剩余部分在空间结构上都构成上下关系. 两个条件下的源汉字、被移除部分和剩余部分的平均笔画数都分别为6.65, 3.05, 3.6. 两个条件的源汉字在字频上没有显著差异: (松组块条件下源汉字的字频平均值($\bar{x} \pm S$)为(0.0206 $\pm$ 0.0227)%, 而紧组块条件下源汉字的字频平均值($\bar{x} \pm S$)为(0.0542 $\pm$ 0.1434)%, $t(78)=1.465$, $P=0.147$) (参考现代汉语语料库汉字字频表www.cncorpus.org; 语料规模为2000万字). 另外40个源汉字作为填充材料, 他们被拆分的两部分被打乱以至于任何一个源汉字和另外两个源汉字的一部分构成一个填充试次. 这样一来, 被试无法从源汉字中减去被移除部分而得到剩余部分. 所有的材料都以图片格式呈现, 视角约为3.3° $\times$ 3.3°.

1.3 程序

被试坐在安静的屋子里, 距离电脑屏幕大约100 cm. 被试进行汉字相减任务. 首先呈现被移除部件1 s, 接着呈现源汉字3 s, 被试任务是从中减去前面呈现的部件从而得出一个有效汉字, 想到答案按

图1 (网络版彩色)紧组块条件和松组块条件

Figure 1 (Color online) The tight chunk and loose chunk conditions

1键, 否则不按键. 最后呈现剩余部件的标准书写体形式2 s, 被试判断想到的答案是否与之一致(是否为同一个汉字), 如果是按1键, 如果不是按2键, 如果之前没有想到答案此时不按键. 实验用eprime1.1进行编程, 所有120个试次随机呈现, 被试每40个试次休息1次. 正式实验前有12个练习试次.

1.4 事件相关电位记录和分析

使用BP(Brain Product)公司生产的64导电极帽对事件相关电位进行记录. 电极根据国际10-20系统进行安放, 记录期间参考电极置于FCz位置, 接地电极安放在中线额部. 垂直眼电记录在右眼底下约1 cm处. 所有电极阻抗小于5 k Ω . EEG和EOG信号被放大, 带通为0.01~100 Hz, 采样率为500 Hz/通道. 离线分析时选择左右乳突的平均值进行重新参考. 用BP分析软件内置的独立成分分析法(independent component analysis, ICA)去除眼电, 高于30 Hz以及被市电干扰(50 Hz)的EEG被滤掉. 排除振幅超过 ± 100 μ V的伪迹. 刺激锁时在源汉字呈现时刻, 对每个条件下正确的试次进行叠加平均, 分析时程为800 ms, 包括200 ms的基线.

基于前人的研究^[11]并结合对总平均图和差异波地形图(紧组块条件减去松组块条件)的观察(图2), 在320~400 ms的时间窗内, 紧组块条件比松组块条件在头皮顶区附近引发了更大的P300成分. 选择CP1, CP2, CPz, P1, P2, Pz, PO3, PO4, POz等9个电极点对P300进行2(组块类型: 紧组块vs.松组块) $\times$ 9(9个电极点)的重复测量方差分析. P 值用Greenhouse-Geisser法校正.

2 研究结果

2.1 行为结果

重复测量方差分析发现, 紧组块条件($\bar{x}=38.96$, $S=0.96$)和松组块($\bar{x}=39.23$, $S=0.86$)在解答率上没有显著差异, $F(1, 25)=2.23$, $P=0.15$, $\eta_p^2=0.08$; 而在反应时上, 紧组块分解($\bar{x}=960.40$ ms, $S=124.22$)比松组块分解($\bar{x}=902.44$ ms, $S=135.42$)耗时更长, $F(1, 25)=8.95$, $P=0.006$, $\eta_p^2=0.26$.

2.2 脑电结果

重复测量方差分析结果显示, 组块类型主效应显著, 紧组块($\bar{x}=7.19$ μ V, $S=1.02$)比松组块($\bar{x}=6.05$ μ V, $S=0.86$)引发了更大波幅的P320-400, $F(1, 25)=$

图2 (网络版彩色)总平均图和差异波地形图

Figure 2 (Color online) Grand-average ERPs and the topographical map of difference wave

6.02, $P=0.02$, $\eta_p^2=0.19$. 电极主效应显著, $F(8, 200)=5.15$, $P=0.007$, $\eta_p^2=0.17$. 组块类型和电极的交互效应不显著($F<1$).

3 讨论

创造性问题解决的神经机制研究已经成为当前的热门话题. 运用认知神经科学的方法技术如事件相关电位(event-related potentials, ERPs)和功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI), 通过观察神经信号或者大脑皮层活动变化有助于揭示创造性问题解决的机制. 创造性问题解决的一个关键和难点就是如何实现关于问题的表征转换. 打破知觉组块, 将旧有的知觉组块“解体”为更细小的部件以便新的组合或者产生新产品是实现表征转换和创造性问题解决的关键机制. 前人研究表明, 被移除元素的类型(即被移除元素是否为有意义的组块)是影响组块分解的一个重要因素, 并且发现基于元素类型的组块分解和P300的关系, 但相关的研究却混淆了其他的因素(如空间关系). 鉴于此, 本研究的目的主要是检验在排除混淆变量(如空间关系)后, 基于元素类型的组块分解是否能引发P300. 实验让被试从一个知觉组块(源汉字)中移除一个汉字或者笔画从而得到新的有效汉字, 同时运用事件

相关电位技术记录这个时刻电生理信号的变化. 行为结果显示, 分解紧组块的时间比分解松组块更长. 脑电结果显示, 在排除交错关系这一干扰变量之后, 基于元素类型的组块分解依然在顶区附近引发了P300效应.

首先行为结果在反应时指标上支持了前人的结论: 紧组块比松组块更难分解^[4,6-8,11,12]. 这主要取决于在分解中被移除的元素类型^[4,6,7]. 组块是人们熟悉的且有意义的知觉模式^[4,6-8,11,12], 能够得到快速优先的加工(这个过程甚至达到自动化)^[4,6]. 相对地, 非组块元素则携带更少意义且相对不熟悉, 从而使得加工变缓. 需要指出的是, 两条件的正确率接近100%, 没有显著差异, 这主要是为了收集更多的有效试次以利于ERP叠加平均.

从ERP结果看, 紧组块条件比松组块条件在头皮顶部附近引发了更大的P300成分. 前人研究表明, P3a的波幅一般在额区达到最大, 由非目标刺激引发. 而P3b其最大波幅一般在顶区附近, 代表着对不常见目标刺激的反应^[18]. 考虑到本研究中发现的P300由相对新异而无意义的元素引发, 且其最大波幅在顶区附近, 因此更可能是P3b成分. Wu等人^[11]也发现P300在顶区附近达到最大, 因此可能和研究者观察到的P3b一致. 前人研究表明, 顶叶对于视觉空间加

工(如在心理旋转任务中)具有重要作用^[19,20]。另一项实验则观察到双稳态图像中的知觉反转在顶区上引发了P300^[21]。Wu等人^[11]通过比较紧组块条件和松组块条件发现,组块紧密性激活了顶上/下回,并且在头皮顶中区观察到了显著的P300效应,提示这个组块分解或者表征转换过程涉及视觉空间加工。本实验通过控制空间因素的混淆,发现基于元素类型的组块分解确实引发了顶区的P300效应。在组块分解任务中,个体的知觉表征需要在视觉空间中发生变化,例如,知觉从旧知觉组块(源汉字)转到被移除元素再到剩余元素。由此可以推断,这个顶区的P300效应涉及视觉空间加工过程。更进一步,松紧组块两个条件都涉及视觉空间转移过程,而唯一的不同是被移除的元素类型:松组块条件下被移除的元素是熟悉且有意义的组块,紧组块条件涉及的被移除元素为无意义且相对新异的。从新异性加工的角度出发,Huang等人^[10]通过比较笔画水平(紧组块)和偏旁部首水平(松组块)的组块分解,发现新异性加工激活了与视觉空间加工紧密相关的顶区皮层。由此可见,组块分解过程不仅涉及视觉空间加工,而且这个过程与加工新异性有关。另外,根据场景更新理论(context-updating theory),P300代表了对进入刺激的心理表征的修正或更新^[22]。出现概率相对低的或者相对新异的刺激能够引发更大波幅的P300^[23,24]。同时本研究的组块分解过程类似于加工知觉双稳态图像中的知觉反转^[11],都涉及知觉转换。知觉反转过程引发的P300成分被认为涉及知觉新异性检测^[21]。基于当前和以往的研究结果并结合P300的场景更新理论,一种比较合理的解释是本研究观察到的P300(P3b)可能反映了知觉转换过程中的表征更新。

当然,P300不仅与场景更新有关,还和其他认知因素如工作记忆负荷有关。在这个任务中由于被移除元素和源汉字单独呈现,因此可能涉及(关于被移除元素的)工作记忆的参与。但由于两种条件下被移除元素在项目数量和笔画数量上没有差别,如果松紧两条件下都是对整个元素进行记忆,那么两种条件下应该不会有工作记忆负荷的差别。另一种可能性是由于紧组块条件下被移除元素为无意义的笔画集(以元素项目的笔画为单位进行记忆),而松组块条件下被移除元素为有意义的独立组块单元(以元素项目为单位进行记忆),因此对紧组块条件下被移除元素的记忆负荷大于松组块条件,然而大量研究表明,

随着工作记忆负荷增加,P3b的波幅下降(见文献[25]),这与本研究中观察到的结果相反。因此本研究发现的P300不太可能是由工作记忆负荷的差别造成的。

本研究主要的贡献是证实了元素类型是组块分解的困难源之一,并且揭示了基于元素类型的组块分解过程和P300效应之间的关系,提示了组块分解涉及知觉转换过程中表征的更新。结合以往应用汉字转换任务^[7,8]和汉字相减任务范式的研究^[10-12],创造性组块分解的认知神经机制愈加清晰。从认知加工来看,组块分解不仅需要打破多重的困难如组块熟悉性和组块紧密性^[11,12],而且涉及多个信息加工过程如视觉输入的减弱^[7,8]和知觉转换中的表征更新^[10,11]。从神经机制层面看,组块分解涉及多个脑区的神经活动的参与,包括初/高级视觉皮层^[7,8]、顶叶和额叶等^[7,10,11]以及不同通路的有效连接^[12]。而且从电生理指标上看,组块分解还与alpha波的活动以及P300有关^[8,11]。不同的范式具有不同的特点,例如,汉字转换任务可以探测到早期视觉活动对组块分解的作用,而汉字相减任务可以直接聚焦这个过程并检测到知觉转换过程的表征更新。因此结合不同范式的研究有助于理清“组块分解过程发生了什么”这一问题,为认识顿悟问题解决的机制提供新视角。例如,组块分解过程中涉及的某些神经活动(如alpha波的增强、P300等)可以为顿悟问题解决区分于常规问题解决提供更多的信息,而不仅局限于传统研究中相关现象的区别。

结合Huang等人^[10]和本研究可以看出,组块分解过程与新异性加工紧密相关。新异性被广泛认为是创造性的核心成分^[26-28],而顿悟问题解决作为重要的创造性形式,其关键之一也是加工新异性^[29,30]。大量研究通过不同任务揭示了顿悟问题解决中新异性加工的神经机制但表现出结果的不一致性(见综述[31,32]),例如,字谜理解中的新异性加工主要与海马的激活有关^[30],完成新异的远距离连接任务主要激活了右颞上回^[1],而完成原型启发任务时,新异性加工则主要与左额中/下回有关^[33]。Huang等人^[10]运用与本研究相似的组块分解任务则发现新异性加工主要激活了尾状核、黑质、顶区等脑区。类似地,这种不一致性也表现在相关的ERP研究中。例如,Luo等人^[34]运用学习-测试范式比较了被试完成新旧发明问题的脑电反应,发现新异答案的产生过程可能反映在观察到的N430-500和N500-900上。运用同样的

学习-测试范式在字谜任务上, Qiu等人^[35]则发现更晚的ERP负成分可能涉及新异连接形成。而Luo等人^[36]通过学习-测试范式比较表面相似字谜和结构相似字谜的时间加工进程发现, 两个条件比基线条件都引发了晚期的ERP正成分(P900-1700), 这个成分被认为反映了新异连接的形成。本研究的组块分解任务中发现新异性加工与P300效应有关。这种差异很可能与研究之间的不同的任务范式和材料加工有关。由于顿悟问题解决本身涉及复杂的高级认知加工过程, 这种差异性也可能反映了基于不同任务的顿悟的新异性加工机制。鉴于此, 未来仍需要更多的研究来检验顿悟问题解决及其新异性加工的认知神经机制。

本研究也存在一些局限。为了控制“空间关系”这一变量, 将紧组块条件和松组块条件下的源汉字中的移除部件和剩余部件都保持上下关系, 然而上下关系仅是这种空间关系同一化的一种(其他还有左右结构的关系等), 是否换成其他空间关系(如左右关系)还能得到相同的结果, 这需要更多的实验验证。另外, 考虑到空间关系也是影响组块分解困难的因素^[9], 然而本研究并没有将之作为研究变量, 这也将限制“组块分解涉及知觉转换过程中表征的更新”这一结论的得出。因此, 本研究关于P300效应和组块分解的结论还需要更多的实验验证, 未来可以从这些方面对组块分解的认知神经机制展开进一步研究。

参考文献

- 1 Bowden E M, Jung-Beeman M. Methods for investigating the neural components of insight. *Methods*, 2007, 42: 87-99
- 2 Subramaniam K, Kounios J, Parrish T B, et al. A brain mechanism for facilitation of insight by positive affect. *J Cogn Neurosci*, 2009, 21: 415-432
- 3 Bowden E M, Jung-Beeman M, Fleck J, et al. New approaches to demystifying insight. *Trends Cogn Sci*, 2005, 9: 322-328
- 4 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
- 5 Kounios J, Beeman M. The cognitive neuroscience of insight. *Annu Rev Psychol*, 2014, 65: 71-93
- 6 Knoblich G, Ohlsson S, Raney G E. An eye movement study of insight problem solving. *Mem Cognit*, 2001, 29: 1000-1009
- 7 Luo J, Niki K, Knoblich G. Perceptual contributions to problem solving: Chunk decomposition of Chinese characters. *Brain Res Bull*, 2006, 70: 430-443
- 8 Wu L L, Knoblich G, Wei G X, et al. How perceptual processes help to generate new meaning: An EEG study of chunk decomposition in Chinese characters. *Brain Res*, 2009, 1296: 104-112
- 9 Zhang Z, Yang K, Warren C M, et al. The influence of element type and crossed relation on the difficulty of chunk decomposition. *Front Psychol*, 2015, 6: 1025
- 10 Huang F R, Fan J, Luo J. The neural basis of novelty and appropriateness in processing of creative chunk decomposition. *NeuroImage*, 2015, 113: 122-132
- 11 Wu L L, Knoblich G, Luo J. The role of chunk tightness and chunk familiarity in problem solving: Evidence from ERPs and fMRI. *Hum Brain Mapp*, 2013, 34: 1173-1186
- 12 Wu Q, Wu L, Luo J. Effective connectivity of dorsal and ventral visual pathways in chunk decomposition. *Sci China Life Sci*, 2010, 53: 1474-1482
- 13 Öllinger M, Knoblich G. Psychological research on insight problem solving. In: Atmanspacher H, Primas H, eds. *Recasting Reality*. Berlin Heidelberg: Springer, 2009. 275-300
- 14 Fu S M, Chen Y P, Smith S, et al. Effects of word form on brain processing of written Chinese. *NeuroImage*, 2002, 17: 1538-1548
- 15 Siok W T, Perfetti C A, Jin Z, et al. Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture. *Nature*, 2004, 431: 71-76
- 16 Tan L H, Laird A R, Li K, et al. Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: A meta-analysis. *Hum Brain Mapp*, 2005, 25: 83-91
- 17 Tan L H, Liu H L, Perfetti C A, et al. The neural system underlying Chinese logograph reading. *NeuroImage*, 2001, 13: 836-846
- 18 Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 2007, 118: 2128-2148
- 19 Harris I M, Egan G F, Sonkkila C, et al. Selective right parietal lobe activation during mental rotation: A parametric PET study. *Brain*, 2000, 123: 65-73
- 20 Harris I M, Miniussi C. Parietal lobe contribution to mental rotation demonstrated with rTMS. *J Cogn Neurosci*, 2003, 15: 315-323
- 21 Pitts M A, Martinez A, Stalmaster C, et al. Neural generators of ERPs linked with Necker cube reversals. *Psychophysiology*, 2009, 46: 694-702

- 22 Donchin E. Surprise! ... Surprise? Psychophysiology, 1981, 18: 493–513
- 23 Donchin E, Coles M G H. Is the P300 component a manifestation of context updating. Behav Brain Sci, 1988, 11: 357–374
- 24 Johnson R. A triarchic model of P300 amplitude. Psychophysiology, 1986, 23: 367–384
- 25 Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. Psychophysiology, 2001, 38: 557–577
- 26 Barron F. The disposition toward originality. J Abnorm Psychol, 1955, 51: 478–485
- 27 Runco M A, Jaeger G J. The standard definition of creativity. Creat Res J, 2012, 24: 92–96
- 28 Stein M I. Creativity and culture. J Psychol, 1953, 36: 311–322
- 29 Luo J. Neural correlates of insight (in Chinese). Acta Psychol Sin, 2004, 36: 219–234 [罗劲. 顿悟的大脑机制. 心理学报, 2004, 36: 219–234]
- 30 Luo J, Niki K. Function of hippocampus in “insight” of problem solving. Hippocampus, 2003, 13: 316–323
- 31 Shen W B, Luo J, Liu C, et al. One decade for insightful brain: New advances on neural correlates of insight (in Chinese). Chin Sci Bull, 2012, 57: 1948–1963 [沈汪兵, 罗劲, 刘昌, 等. 顿悟脑的10年: 人类顿悟脑机制研究进展. 科学通报, 2012, 57: 1948–1963]
- 32 Dietrich A, Kanso R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. Psychol Bull, 2010, 136: 822–848
- 33 Qiu J, Li H, Jou J, et al. Neural correlates of the “Aha” experiences: Evidence from an fMRI study of insight problem solving. Cortex, 2010, 46: 397–403
- 34 Luo J L, Du X M, Tang X C, et al. The electrophysiological correlates of scientific innovation induced by heuristic information. Creativity Res J, 2013, 25: 15–20
- 35 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
- 36 Luo J L, Li W F, Fink A, et al. The time course of breaking mental sets and forming novel associations in insight-like problem solving: An ERP investigation. Exp Brain Res, 2011, 212: 583–591

P300 and creative chunk decomposition

ZHANG ZhongLu¹, ZHANG JiaHui¹, SONG XinXin¹, DOU HaoRan¹, YANG WenLong¹,
YU Long¹, LEI Yi^{1,2} & LI Hong^{1,2}

¹Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

²College of Psychology and Sociology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

Creativity plays a critical role in human development, and insight problem solving is a crucial aspect of creativity. One way to access insight is chunk decomposition, which hypothesizes that the difficulty of chunk decomposition is determined by chunk tightness: it is more difficult to decompose tight chunks than loose chunks because tight chunk decomposition involves the removal of meaningless elements, whereas loose chunk decomposition involves the removal of meaningful elements. However, previous studies did not exclude certain confounding factors (eg, spatial relation) considering that the process of chunk decomposition can also be influenced by them. The current study aimed to examine the neural basis of chunk decomposition. Specifically, we focused on addressing the question upon whether this element-type-based chunk decomposition is related to the P300 effect after controlling for spatial relation. To this aim, an adapted version of the chunk decomposition task in Chinese characters was introduced in this study. Participants completed the chunk decomposition task in both tight and loose chunk conditions in which the tightness of a chunk is determined by the type of the removed part in the source character: whereas the removed parts were meaningless strokes in the tight chunk condition, the removed part was a meaningful character in the loose chunk condition. For both conditions, the removed part and the left part were spatially kept in an up-down structure in the source characters. For example, in the tight chunk condition, the source character “买” consists of a stroke and a character “大”. In the loose chunk condition, the source character “奇” consists of a character “大” and another character “可”. In both tight and loose chunk conditions, the removed element, the source character and the left element were presented one after another and participants were asked to remove one part from a source character to get another valid character. Meanwhile, the event-related potentials (ERPs) were recorded after the onset of the source character. The behavioral data including solution rates as well as reaction times and the ERPs data including the amplitudes of P300 were collected in both tight and loose chunk conditions. The repeated measures of ANOVAs were run for the comparisons of these data. The behavioral results showed that: (i) there was no significant difference on the solution rates between the tight chunk condition and the loose chunk condition; (ii) tight chunk decomposition took longer time to complete than loose chunk decomposition. The ERPs results showed that the element-type-based chunk decomposition elicited a significant P300 effect: the amplitude of P300 deflections was greater in the tight chunk condition than in the loose chunk condition. Maps of the P300 manifested strong activations over the parietal scalp regions. Our study suggests that element type is one of the difficulties in chunk decomposition. Moreover, chunk decomposition might involve representation updating in perceptual transition.

creativity, chunk decomposition, element type, P300, Chinese character

doi: 10.1360/N972015-01298