

部件表征在合体字识别中的作用 ——来自 ERP 的证据

李丽丽 张春丽 毛媛 王权红*

(西南大学心理学部, 重庆, 400715)

摘要 文采用延迟反应的同一字判断任务, 记录了大学生被试由部件数不同的两种残缺汉字诱发的事件相关电位(ERP)。结果发现部件少(笔画删除)比部件多(部件删除)的残缺字产生更小的 P200, 更大的 N400, 表明简单部件在合体字识别中起到一种中间层单元的作用; P200 效应符合关于部件少比部件多的残缺字激活更多的部件家族成员的假设, 而更多家族成员的激活使残缺字的整字内部表征受到的侧抑制更多, 体现为更大的 N400。双效应支持多层交互激活模型及其侧抑制机制。

关键词 ERPs 汉字识别 中级亚字加工 简单部件

1 引言

国外 40 年研究表明, 复合词词汇单元和字母之间存在中级亚词汇单元, 如音节 (Carreiras, Alvarez, & Devesa, 1993; Chetail & Mathey, 2012)、词素 (Morris, Porter, Grainger, & Holcomb, 2011) 等。虽然汉字的字法结构和拼音文字的字法结构差别很大, 但是汉语合体字识别中似乎也有着中级亚字单元。例如, Taft 和 Zhu (1997) 提出的汉字加工多层次的交互激活模型 (multilevel interactive-activation model), 简称中文版多层 IA 模型或 MIA。它的表征层由低到高依次为: 笔画、简单部件和整字, 即在笔画和整字层之间加入了简单部件层。Taft 和 Zhu 发现在真假字的词汇判断任务中, 含有高频简单部件 (丿) 的汉字 (扮) 比含有低频简单部件 (乚) 的汉字 (浇) 的作业成绩更好; Taft 和 Zhu 认为简单部件作为中级单元是影响识别的因素。因此, 由 MIA 模型可知, 汉字的加工要经过笔画、部件和整字三个层次。原 IA 模型 (interactive-activation model), 包含字母特征、字母和单音节单词三个由低到高、双向连接的层次 (McClelland & Rumelhart, 1981)。同样地, 可以在字母和整词层之间加入音节层, 构成英文版 MIA (Taft, 1994), 甚至法文版、西班牙版 MIA。

可是, 近几年关于汉字部件作用的研究并没有得出一致的结论。比如, 余成武和张敏 (2014) 采

用 2 部件字和 3 部件字为实验材料, 在单字水平上得到部件数效应, 也就是说部件是汉字正字法加工的基本单元。彭聃龄和王春茂 (1997) 以及孙海静和王权红 (2012) 的研究虽然都发现 2 个部件比 3 个部件的整字真假字判断反应快, 支持了部件在识别中的作用, 但是前者却发现 2 个部件比 1 个部件的整字反应快。此外, 罗艳琳、陈墨和彭聃龄 (2008) 采用笔画构成汉字的实验范式, 利用整字、部件、笔画作为启动材料, 发现部件成分 (2 ~ 3 笔画) 在是否构成汉字的判断中没有启动作用, 表明简单部件可能不起作用。

Yang, Zhang 和 Wang (2016) 对笔画数之外的额外变量进行了平衡, 发现笔画数多的字比笔画数少的字引发更大的 P200 和更大的 N200。表明不同笔画数引发的 ERP 波幅不同, 说明笔画在汉字识别中的作用。基于 Yang 等人 (2016) 的逻辑, 平衡了部件数之外的额外变量, 如果两种部件数的残缺字引发的 ERP 波幅不同, 那么部件在合体字识别中有作用。本研究的目的 1 是探究部件在合体字识别中的作用。采用 ERP 方法, 操纵部件多和部件少的残缺字, 让被试做同一字判断任务。假设 1 是, 如果两种部件数的残缺字引发的 P200 或 N400 波幅不同, 那么就能说明部件在合体字识别中起到作用。

本研究的目的 2 是考察部件在 MIA 中的作用,

* 通讯作者: 王权红。E-mail: quanhong177@yahoo.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20170603

即 ERP 结果是否符合 MIA 预期。MIA 和 IA 一样，靶刺激的呈现不仅会激活实际看到的靶字的节点，还会激活没看到的、但同部件或同音节的家族成员字的节点。这就意味着，家族越大的靶字激活越多的分心节点，因此，靶节点越难于从众多分心节点中胜出，最终在需要靶字的精确音、义等信息激活时，反应越慢。目的 2 的假设（假设 2）是，部件少的笔画删除残缺字，家族成员大。理由有两个：一、在字母层次上有类似现象，如字母少的词有着更多的家族成员（Jalbert, Neath, Bireta, & Surprenant, 2011）。二、在不需要目标字的精确信息的词汇判断和命名任务中，往往部件少（彭聃龄，王茂春，1997；孙海静，王权红，2012）；家族大（Li, Bi, Wei, & Chen, 2011；Wu, Mo, Tsang, Chen, 2012）的字反应时短。

研究显示，大声旁家族汉字会使 N400 波幅增大（Hsu, Mo, Tsang, & Chen, 2009；Wu et al., 2012），符合 MIA 预期。Hsu 等根据 MIA 指出，刺激的加工后期家族越大，竞争越强，N400 也越大。因此，依据假设 2（部件少家族大）连同 MIA，本研究预期部件少条件下的 N400 波幅比部件多条件下更大。此外，Wu 等人以及 Hsu 等人的研究还表明，家族越大，P200 越小，因此依据假设 2，本研究预期，部件少条件下的 P200 波幅比部件多条件下更小。

2 方法

2.1 被试

从大学生中选取了 16 位学生（8 位男生）作为被试，年龄范围为 19~23 岁，平均年龄为 21.3 岁。右利手，裸眼视力或矫正视力正常，无语言等神经功能上的缺陷或损伤。

2.2 实验材料

本实验从频率词典（北京语言学院语言教学研究所，1986）一共选取了 200 个中、低频字作为根字，随机取 100 个生成笔画残缺字刺激，剩下 100 个生成部件残缺字刺激。比如，汉字“墩”删除一个 3 笔的简单部件“子”生成部件残缺字“墩”，而删除同样是 3 笔的笔画生成笔画残缺字“墩”。笔画删除残缺字（ $M = 1.34$, $SD = .49$ ）比部件删除残缺字（ $M = 3.25$, $SD = .70$ ）包含较少的部件（ $t[398] = -31.71$, $p < .001$ ），但所有笔画删除残缺字至少还留有一个完整的部件。基于 15 名额外被试的评估测试，两种残缺字在与完整字的视觉整体相似度上（ $M = 3.95$,

$SD = 1.08$; $M = 4.16$, $SD = .93$ ）无显著差异（ $t < 1$ ）。此外，一半刺激的根字与配对（跟随）的探测字为同一汉字，另一半的根字与配对（跟随）的探测字为非同一字；其次，每个刺激被“同一字”和“非同一字”跟随的机会均等。“非同一字”实为额外的、不作根字的 100 个汉字。探测字之间的字频、笔画数、部件结构、部件数都得到了平衡。

用 Flash 8 软件，每个汉字都被做成 45*45 像素黑底白字的平滑图片，并且均位于图片的中心位置。根字和残缺字的字号为 39，楷体；探测字的字号为 39，黑体。图片在 17 寸的黑屏上呈现，屏幕距离被试 80 cm。每个刺激和探测字的水平和垂直的视角均为 1.2°。

2.3 方法步骤

采用 E-Prime 2.0 进行实验程序设计，具体实验程序如图 1 所示。被试的任务是又快又准的判断刺激（笔画删除或部件删除残缺字）是否和配对的探测字匹配。实验前进行适当的练习，保证被试熟练实验操作程序。

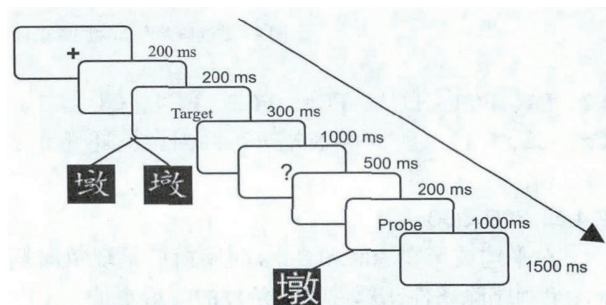


图 1 刺激呈现流程图

2.4 EEG 记录和数据分析

使用德国 Brain Products 公司的 64 导电极帽记录脑电，以双耳乳突连线为参考电极，接地点在 FPz 与 Fz 连线的中点，同时记录水平眼电和垂直眼电。每个电极处的头皮电阻保持在 5 kΩ 以下，滤波带通为 .01~100 Hz，采样频率为 500 Hz/d。分析时程为刺激前 200 ms 到呈现后 1000ms，以 -200~0 ms 作为基线进行校正。自动排除其他伪迹。离线滤波带通为 35 Hz。根据得到的总平均波幅和前人的研究，主要考察目标刺激呈现后的两个时间窗口 180~230ms，300~500ms。

2.4.1 180~230ms

180~230 ms 时间窗口有一正波，类似 P200 成分，且部件删除条件的波幅更大，主要分布在头皮中前部。据此分布，选择 15 个电极（F1、F3、Fz、

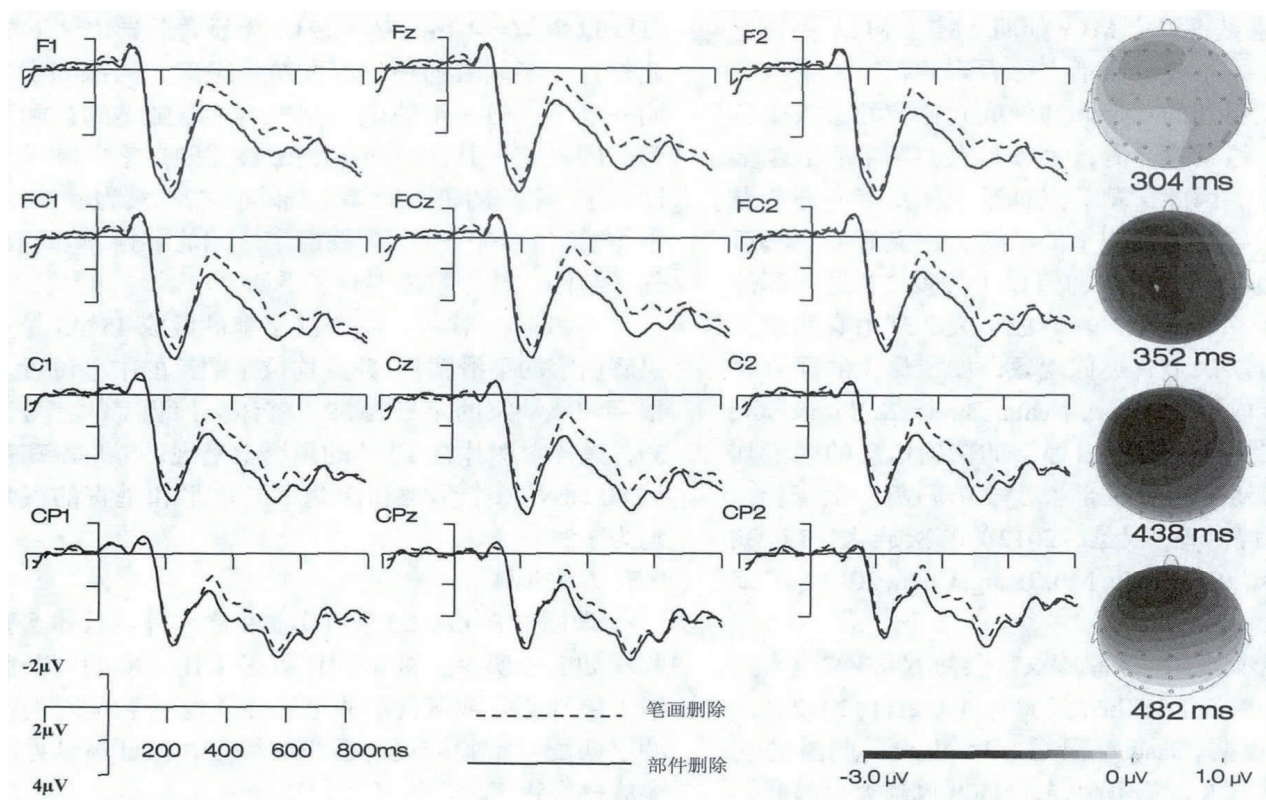


图2 笔画删除和部件删除条件下的ERP总平均波形图和差异波的地形

F2、F4、FC1、FC3、FCz、FC2、FC4、C1、C3、Cz、C2、C4），对平均波幅进行两因素重复测量方差分析。

2.4.2 300~500ms

总平均波形在300~500 ms时间窗口呈现负向偏向，笔画删除条件比部件删除条件的波形更偏负（图2）。这个波形成分类似于N400，差异主要位于头皮中顶部区域。新近研究（Morris, Porter, Grainger, & Holcomb, 2011）N400的电极点划分为以Cz为中心的中线和三个同心区，进行ERP的平均波幅分析。本研究将遵循这个常规的电极点选择方法，对平均波幅进行两因素重复测量方差分析方法。 p 值采用Bonferroni的方法进行校正，即以.05/4即.0125作为校正后的显著 p 值（Dong, Yang, & Wang, 2015）。最后，统计中的 p 值采用Greenhouse-Geisser校正。

3 结果

3.1 行为结果

在同一字判断任务中，部件少条件下反应正确率的平均数为.88（ $SD = .08$ ）即88%。部件多条件下反应正确率的平均数为.90（ $SD = .09$ ）。部件少

条件下反应时的平均数为559 ms（ $SD = 39$ ），部件多条件下反应时的平均数为552 ms（ $SD = 31$ ）。单因素重复测量方差分析显示，两种条件正确率和反应时各自没有差异（正确率： $F(1, 15) = .22$, $p = .65$, $MSE = .01$, $\eta^2 = .01$ ；反应时： $F(1, 15) = 1.16$, $p = .30$, $MSE = 360.71$, $\eta^2 = .07$ ）。

3.2 ERP结果

图2列举了部件少和部件多条件在电极上的总平均ERP。两种条件的ERP显示在刺激呈现后的300~500 ms时间段内，部件少比部件多引发更大的负向波。而且，引发的ERP开始出现了一个类似于P200的成分，随后又出现了一个类似于N400的成分。

3.2.1 P200（180~230 ms时间窗口）

重复测量方差分析显示，部件多少的主效应不显著（ $F(1, 15) = 2.58$, $p = .13$, $MSE = 13.92$, $\eta^2 = .15$ ）。部件少和所选电极点存在显著的交互作用（ $F(14, 210) = 3.15$, $p < .03$, $MSE = .55$, $\eta^2 = .12$ ）；进一步分析发现，部件多少和头皮的左（F1、F3、FC1、FC3、C1、C3）、右半球（F2、F4、FC2、FC4、C2、C4）的交互作用达边缘显著（ $F(1, 15) = 4.19$, $p = .058$, $MSE = .66$, $\eta^2 = .22$ ），部件

少和部件多条件在左半球电极点差异显著,前者产生了更小的 P200 峰值 ($F(1, 15) = 5.23, p < .04, MSE = 4.44, \eta^2 = .26$)。而在右半球和中线的其他电极点上,部件少条件和部件多条件的 P200 峰值不存在显著差异(右半球: $F(1, 15) = .87, p = .37, MSE = 7.06, \eta^2 = .06$; 中线: $F(1, 15) = 2.91, p = .11, MSE = 3.29, \eta^2 = .16$)。

3.2.2 N400 (300~500 ms 时间窗口)

重复测量方差分析显示,在头皮一区 ($F(1, 15) = 15.75, p < .001, MSE = 5.39, \eta^2 = .51$) 和二区 ($F(1, 15) = 17.47, p < .001, MSE = 5.99, \eta^2 = .54$), 部件多少的主效应均显著,部件少条件比部件多条件产生更大的 N400。在三区中,部件多少的主效应为边缘显著 ($F(1, 15) = 7.85, p = .013, MSE = 7.28, \eta^2 = .34$)。在中线上,部件多少的主效应也是边缘显著, ($F(1, 15) = 7.60, p = .015, MSE = 6.34, \eta^2 = .34$), 但是,中线上电极点和部件多少有显著的交互作用 ($F(1, 15) = 3.94, p < .0125, MSE = 1.77, \eta^2 = .21$)。在中线的中心段(含 Fz, FCz, Cz, CPz 电极)部件多少的简单效应显著 ($F(1, 15) = 12.10, p < .005, MSE = 4.45, \eta^2 = .45$)。

4 讨论

部件少残缺字比部件多残缺字引发了更为负向的 ERP,都来自相同的合体字,二者在汉字的相似程度上无明显区别(2.2 实验材料)。假如合体字的识别从笔画绕过部件,直接到达整字层水平,那么二者的 ERP 波幅应该没有差异。然而,前者比后者产生了更小的 P200 和更大的 N400,表明在合体字识别时简单部件起着不可忽略的作用,支持了目的 1 假设。P200 和 N400 成分与前人的“家族大小”研究的 P200 和 N400 相似(Hsu, et al., 2009; Wu, et al., 2012)。其中, P200 效应类似于 Yang 等人(2016)的笔画数 P200 效应,即笔画少的刺激诱发了更小的 P200。笔画数 P200 效应表明笔画在字识别中的作用(即自下而上的加工)以及笔画单元的存在。同样的,部件数 P200 效应能说明部件在字识别中的作用以及部件单元的存在。

P200 效应还支持了部件少残缺字的“部件家族大”的假设,即目的 2 的假设。目前鲜有部件数 P200 效应的研究,可是,部件少引发较小的 P200,与前人的家族 P200 效应有着明显的巧合,例如,声旁大家族字引发更小的 P200 (Hsu et al., 2009; Wu

et al., 2012)。Hsu 等人根据 MIA 模型,认为声旁家族大的刺激在加工早期激活更多相似字,导致更高水平的总体激活,使字形加工易化,引发较小的 P200。虽然本研究的简单部件没有固定发音,但是部件少残缺字因“家族大”同样会产生较高水平的激活和字形加工易化,引发较小的 P200,支持 MIA 模型。Kong, Zhang, Zhang 和 Kang (2012) 的研究就表明,来自启动字的纯字形加工易化也能减小 P200。此外, Yang 等人(2016)把 P200 的减小归结为笔画少导致的注意负荷减小,而我们可以认为,部件少导致注意负荷减小以至于加工易化,最终使 P200 显著地减小;在本研究中,至于这为何只发生在大脑左半球,我们推测与左半球参与语言信息引导的注意过程有关(Wlotko & Federmeier, 2007)。这一推测有待于进一步研究。

部件数的 N400 和行为效应进一步支持部件少残缺字的家族大这一假设。首先,部件少残缺字比部件多残缺字,引发更大的 N400,与家族 N400 效应有着明显的巧合(Hsu et al., 2009; Wu et al., 2012)。其次,在梁欣(2016)语义分类任务中,与我们研究任务一样需要目标字的精确信息,大家族字反应时比小家族字长,而部件少残缺字的行为反应时比部件多的更长。这些部件数效应也支持了 MIA 模型。根据 MIA, 家族大的部件少残缺字激活更多的候选字,造成在后期词汇挑选阶段目标字难于从竞争中胜出,最终在需要靶字的精确音、义等信息时,反应变慢。Hsu 等人(2009)也指出,在后期阶段,家族大必然带来更激烈竞争,表现出更大的 N400。在 Yang 等人(2016)的研究中,只出现笔画数 P200 效应,无 N400 效应,这表示可能除了部件少家族大,部件数本身以及笔画数、注意负荷是不会改变 N400 波幅的。

本研究中的同一字判断任务实验范式应用范围较广,尤其可应用到残缺刺激的研究(Wang & Zhang, 2011)。它已在近期的许多研究中使用,灵敏地显示了与字词各水平加工有关的 ERP 成分,如 P200、N250、N400,使字识别中的一些加工过程得以显示,从而补充和修改了现有理论。例如, N250 反映刺激与激活的家族成员内部表征的失匹配程度,白学军和侯友(2013)采用启动范式和 Go / Nogo 实验范式,探讨汉字重复启动和语义启动中语义激活程度的差异,未发现 N250 成分。然而 Dong 等(2015)采用同一字判断实验范式,探讨 ERP 的正

字法家族大小效应,发现了 N250 成分及其家族大小效应。

5 结论

(1)简单部件在合体字识别中起着明确的作用,且应作为中间单元存在;(2)部件少残缺字产生更小 P200,更大 N400,支持部件少的字家族大的说法;(3)在多层次交互激活模型(MIA)中,简单部件的具体作用体现为,部件少残缺字由于家族大而在早期激活更多的候选字分心节点,导致 P200 减小,后期则带来更多的竞争,引发更大的 N400 波幅。

参考文献

- 白学军,侯友.(2013).词汇加工初期语义属性的激活程度:来自 ERP 的证据.《心理科学》,36(2),258-264
- 北京语言学院语言教学研究所.(1986).《现代汉语频率词典》.北京:北京语言学院出版社.
- 梁欣.(2016).声旁家族对汉字词汇识别的影响.西南大学心理学部硕士学位论文.
- 罗艳琳,陈墨,彭聃龄.(2008).整字、部件与笔画对笔画构成汉字的影响.《心理学探新》,28(1),28-32.
- 彭聃龄,王春茂.(1997).汉字加工的基本单元:来自笔画数效应和部件数效应的证据.《心理学报》,29(1),8-16
- 孙海静,王权红.(2012).部件数和字频在汉字识别中的作用.《唐山学院学报》,25(6),30-32.
- 余成武,张敏.(2014).汉字单字识别的正字法加工方式.《杭州师范大学学报(自然科学版)》,13(1),29-34.
- Carreiras, M., Alvarez, C. J., & Devesa, M. (1993). Syllable frequency and visual word recognition in Spanish. *Journal of Memory and Language*, 32(6), 766-780.
- Chetail, F., & Mathey, S. (2012). Effect of syllable congruency in sixth graders in the lexical decision task with masked priming. *Scientific Studies of Reading*, 16(6), 537-549.
- Dong, J., Yang, S., & Wang, Q. H. (2015). N400-like effect of stroke-based neighborhood size in Chinese characters. *Journal of Neurolinguistics*, 35, 120-134.
- Hsu, C. H., Tsai, J. L., Lee, C. Y., & Tzeng, O. J. L. (2009). Orthographic combinability and phonological consistency effects in reading Chinese phonograms: An event-related potential study. *Brain and Language*, 108(1), 56-66.
- Jalbert, A., Neath, I., Bireta, T. J., & Surprenant, A. M. (2011). When does length cause the word length effect? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(2), 338-353.
- Kong, L., Zhang, B., Zhang, J. X., & Kang, C. (2012). P200 can be modulated by orthography alone in reading Chinese words. *Neuroscience Letters*, 529(2), 161-165.
- Li, Q. L., Bi, H. Y., Wei, T. Q., & Chen, B. G. (2011). Orthographic neighborhood size effect in Chinese character naming: Orthographic and phonological activations. *Acta psychologica*, 136(1), 35-41.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88(5), 375-407.
- Morris, J., Porter, J. H., Grainger, J., & Holcomb, P. J. (2011). Effects of lexical status and morphological complexity in masked priming: An ERP study. *Language and Cognitive Processes*, 26(4-6), 558-599.
- Taft, M. (1994). Interactive-activation as a framework for understanding morphological processing. *Language and Cognitive Processes*, 9(3), 271-294.
- Taft, M., & Zhu, X. P. (1997). Submorphemic processing in reading Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(3), 761-775.
- Wang, Q., & Zhang, J. (2011). N400 solution effect of Chinese character fragments: An orthographic neighborhood size effect. *Brain Research Bulletin*, 86(3-4), 179-188.
- Wlotko, E. W. & Federmeier, K. D. (2007). Finding the right word: Hemispheric asymmetries in the use of sentence context information. *Neuropsychologia*, 45(13), 3001-3014.
- Wu, Y., Mo, D. Y., Tsang, Y. K., & Chen, H. C. (2012). ERPs reveal sub-lexical processing in Chinese character recognition. *Neuroscience Letters*, 514(2), 164-168.
- Yang, S. S., Zhang, S. M., & Wang, Q. H. (2016). P2 and behavioral effects of stroke count in Chinese characters: Evidence for an analytic and attentional view. *Neuroscience Letters*, 628, 123-127.

The Intermediate Role of Radicals in Chinese Characters Recognition: ERP Evidence for the MIA Model

Li Lili Zhang Chunli Mao Yuan Wang Quanhong

(Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing, 400715)

Abstract Words whose processing is primed by a word that shares a sub-lexical unitization such as syllable and radical are responded to faster than words whose processing is not primed, which reflects an intermediate and activation role of the priming sub-lexical units. On the other hand, words with a high-frequency syllable, elicit higher N400 of event-related brain potentials (ERPs), reflecting a greater lateral inhibition associated with a larger neighborhood. To explore the controversial intermediate roles of sub-lexical units, the present study examined whether the number of simple radicals in the fragments of Chinese characters could modulate ERPs.

The present study recorded ERPs elicited by radical- and stroke-deleted (RD and SD) fragments of Chinese characters, while the participants performed a delayed character matching task on the fragment stimuli and the probe characters that followed a stimulus. The RD fragments were created by deleting a simple radical from a root character that contained in average 4.66 simple radicals. The SD fragments, which contained at least one radical, were created by deleting the same number of strokes as deleting the corresponding radical and deleting randomly, except that the deleted strokes belonged to as many different radicals of the root characters as possible; nevertheless, the SD fragments contained at least one radical. Radical-deleted and stroke-deleted fragments were created from one root character which was only drawn in Kai Ti, and in total two types of 200 fragments were generated with 200 root characters. Two complementary stimulus sets, one for each participant, were formed based on the two types of fragments. Half of one type was combined with fragments of the other type created from the remaining root characters. Therefore, the probability of every character being presented under each condition was balanced across all participants.

The main results showed that the SD fragments elicited a smaller P200 component and a larger N400-like component than the RD fragments. These results demonstrated an intermediate role of simple radicals in the recognition of complex Chinese characters, given equal numbers of strokes in the two types of fragments. Further, the SD fragments contained fewer intact radicals, presumably having a larger number of radical neighbors again due to fewer radicals than the RD fragments. Thus, as expected, a higher N400 was elicited by the SD fragments as compared with the RD fragments. A lower P200 usually reflects a larger number of neighbors activated by the stimuli, so it could reflect a larger number of neighbors associated with the SD fragments.

The N400 effect is interpreted in a multilayer interactive-activation model as reflecting relatively stronger competition from the neighbors of the SD characters. Radicals should be embedded into the multilayer model as sub-lexical units. The P200 effect is interpreted as reflecting the number of neighbors of the stimuli.

Key words ERPs, Chinese character fragments, sub-lexical processing, simple radicals