

汉字视听再认的 ERP 效应与记忆提取脑机制*

罗跃嘉 魏景汉 翁旭初 卫 星

(中国科学院心理研究所,北京 100101)

摘要 测定了正常青年人汉字再认的事件相关电位(ERP)。观察到对听觉汉字的认知产生“持续中央负成分”,而视觉汉字的认知出现“晚期正成分”,提示汉字的视听认知具有不同的脑机制。汉字视听认知皆出现了新旧效应,即旧词皆引起 ERP 晚期成分的正走向变化,但视听新旧效应的起始时间与头皮分布不同,听觉效应为右半球优势,视觉效应则出现在左侧顶叶、左侧颞叶后部与右侧枕叶。以上实验结果提示,“优势半球”概念已难以概括半球间的多维动态关系,需要修正。

关键词 记忆,再认,事件相关电位(ERP),持续中央负成分(SCN),晚期正成分(LPC)。

分类号 B842.1

1 问题提出

事件相关电位(event-related potential, ERP)时间分辨率高,通过其头皮分布可观察不同实验条件所诱发神经活动的脑内源^[1,2],可对记忆的加工过程与神经活动机制提供有力的证据。再认的 ERP 研究模式大多采用直接的或外显的“学习——再认”和间接的内隐模式。内隐实验如令被试识别词与非词^[3,4],比较初现词与再现词诱发的 ERP,则再现词产生一个更大的正向波,这就是再认的重复效应(repetition effects)^[2]。根据不同 ERP 成分的变化,重复效应可分为 N400 效应和 LPC 效应(late positive component,晚期正成分)。前者为再现词导致 N400 减小,始于刺激后 250ms,在 300~500ms 的时间范围内变化最大,与语义加工有关;后者为再现词引起 LPC 增大,一般始于刺激后 400ms,反映再认的加工过程^[5]。已有许多间接再认实验证明了 ERP 重复效应的存在^[1~4],也有少数直接再认实验表明短间隔的再认产生明显的 LPC 增大,而长间隔(>15 秒)的再认却无此变化^[1]。

直接的再认实验模式通常分为学习与再认二个阶段,在被动“学习”之后,被试的任务是在再认阶段辨认呈现词是否曾经出现过^[6,7]。重复出现的词称为“旧词”,从未出现的是“新词”。研究发现旧词产生一个比新词更加正走向(more positive-going)的晚

期 ERP 成分,其变化的时间范围约为 250~800ms,此即再认的新旧效应(old/new effects)^[1]。某些研究者对直接与间接的再认实验进行了比较性研究^[3,4]。他们起初认为 ERP 的新旧效应是与再认旧词有关,但 Smith 与 Halgren^[6]则认为新旧效应不仅为 LPC 增大,而且也包括 N400 减小。N400 反映一个单词与语境歧义时产生的“联合激活”(associative activation);而 LPC 反映“语境结束”(contextual closure),例如情节加工的结束^[1]。

听觉通路是否存在正走向的重复效应和新旧效应,其结论尚不一致。Chao 与 Knight 在非语言声音的再认实验中,观察到一个明显的负走向波,是开始于 375~400ms 的“持续额叶负成分”(sustained frontal negativity, SFN)。它在短时记忆过程中反而波幅减小。他们认为这是听觉通路特有的现象^[8,9];并认为 SFN 反映了行为效应(performance effort)或注意加工效应,也可能与听觉期待波 CNV (Contingent Negative Variation) 有关;SFN 波幅随任务难度增加而增大,意味着是负向变化^[8]。但 Rugg 等在间接的语言再认实验中观察到一个 400~600ms 范围内的大负波,重复效应表现为该负波的正向变化^[10]。重复效应究竟是“负向”还是“正向”变化?尚有待进一步明确。

上述研究的语言材料均为英文,迄今尚未见到以汉字作为刺激材料的研究报告。汉字作为表义文

收稿日期:2001-05-16。

* 中国科学院百人计划与中国科学院重大交叉学科前沿项目(KJ951-07)。

字,英语作为表音文字的代表,其脑机制可能有所不同,且上述问题有待深入研究解决。本实验拟通过汉字单字词再认的 ERP 实验,阐明记忆提取中视听两通路的脑机制特征。

2 实验方法

2.1 被试

被试为青年志愿者 13 名,年龄 23~32 岁,男 6 女 7。听力正常,视力正常或校正后正常。均为右利手。

2.2 刺激与任务

采用经典的“学习—再认”实验模式。在学习阶段,呈现 40 个单字词。其中 20 个为“初现词”,将在再认阶段重复出现;另 20 个为填充词。被试尽量记忆所有词但不作任何反应。休息 2 分钟后进入再认阶段,呈现 40 个单字词,其中 20 个为前面曾经出现过的,这里第二次出现,故称“再现词”,亦称“旧词”,另 20 个则是未曾出现过的“新词”。被试的任务是对旧词用一手拇指按键,对新词用另一手拇指按键。实验分听觉与视觉两部分,分别进行 5 组学习再认实验,每组包括初现词和再现词各 20 个。对按键的左右手和视听顺序进行了被试间平衡。

表 1 刺激材料

词类 (均为 $n=100$)	视觉刺激		听觉刺激
	字	频 笔 画	呈现时间(ms)
初现词	0.8374 \pm 0.083	9.45 \pm 0.132	470 \pm 8.4
再现词	0.9199 \pm 0.096	9.39 \pm 0.130	481 \pm 8.8
t 值(p 值)	0.61(0.540)	0.31(0.757)	1.04(0.301)

视听刺激分别由电脑屏幕和耳机呈现。学习阶段共呈现 200 个字,其中 100 个字为初现词,另 100 个字为填充词。在再认阶段,再现词即旧词也是 100 个,另外为 100 个新词。因此整个实验共呈现 400 个字,其中 100 个字重复 1 次,实际上刺激物为 300 个字。视觉刺激从电脑《汉字属性信息数据库》^[11]中挑选汉字单字词。挑选标准为:频级 1~2 级的最常用字和常用字、笔画 8~12 画,听觉刺激为录制于 STIM 软件的女声普通话,通过空气导管式耳塞机传入耳内,以排除磁性干扰。初现词与再现词的视觉刺激的字频、笔画和听觉刺激的呈现时间及 t 检验结果见表 1。 t 检验结果均无显著差异,表明各类刺激材料是均衡的。

2.3 脑电记录

实验仪器为美国 NeuroScan 公司生产的 32 导

ERP 工作站。EEG 记录为国际 10~20 系统的 19 个点: Fpz、Fp1、Fp2、Fz、F3、F4、F7、F8、Cz、C3、C4、T3、T4、Pz、T5、T6、Oz、O1、O2。电极用 32 导电极帽固定。以双侧乳突为参考电极点,接地点为前额发际下 0.5cm。在双眼外眦和右眉上置表面电极记录垂直眼电(VEOG)。滤波带通为 0.1~40Hz,头皮与电极之间的阻抗 $< 5K$,分析时间 1000ms(含基线 100ms)。记录连续 EEG,采样间隔为 4ms/导,离线式(Off-line)叠加处理。

2.4 数据处理

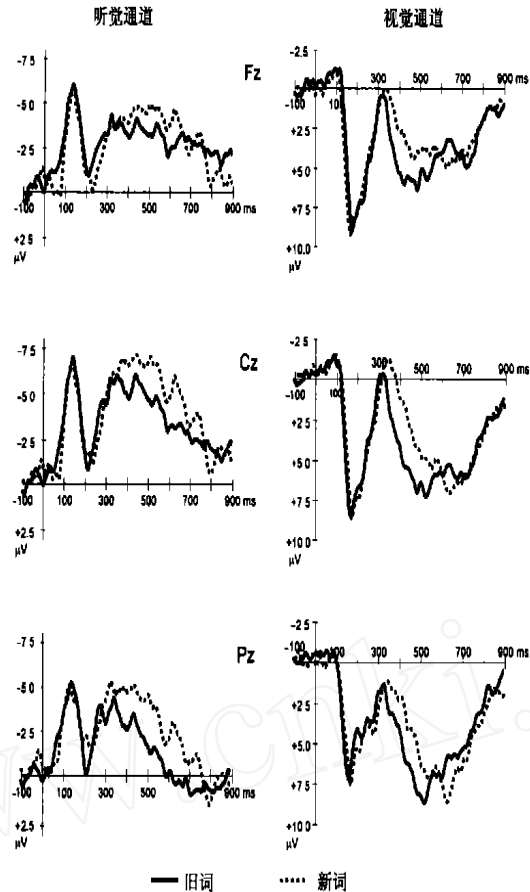
用 NeuroScan 软件自动校正 EOG,并充分排除其他各种伪迹。对 EEG 分类叠加,共得到旧词和新词产生的 2 类 ERP,如图 1 所示。由于错误率低于 30%,操作错误时的 EEG 次数过少,叠加得到的 ERP 信噪比达不到要求,因此只对反应正确的 ERP 进行叠加。用旧词减去新词,得到新旧效应。用 NeuroScan 中的自动波峰测量软件,分别测量 N1、P2、N2 和 LPC 的波幅与峰潜伏期(基线—波峰值),根据本实验结果及前人工作经验,发生变化的主要是听觉负成分和视觉正成分,因此主要分析这 2 个成分。

用 SPSS 统计软件包对 SCN 和 LPC 波幅与潜伏期进行 3 因素方差分析。这 3 个因素为感觉通路(2 个水平:听觉通路与视觉通路)、再认(2 个水平:旧词与新词)和记录部位(19 个水平);多因素方差分析采用 Greenhouse-Geiss 法校正,并对数据的头皮分布进行正常化处理。因素间的交互效应显著者再进行简单效应分析。对视听差异波测定平均波幅,根据总平均图设定新旧效应的时间窗口为 300~600ms。

3 实验结果

对视听刺激的正确率分别为 71 \pm 3.4% 与 70.3 \pm 3.0%,没有显著性差别;而反应时分别为 628 \pm 22.9 与 905 \pm 27.8ms,对听觉刺激的反应时显著长于视觉刺激, $t = 11.37, p < 0.0001$ 。

听觉刺激主要诱发出 N130、P210 和晚期负成分,晚期负成分最大波峰主要分布在 Cz,峰潜伏期约为 450ms,持续时间很长,从 200ms 至 800ms,因此称之为“持续中央负成分”(sustained central negativity, SCN);听觉旧词与新词产生的 ERP 成分相比较(图 1 左列实线与点线),在 300~750ms 的时间范围内旧词表现为正向变化,变化在头皮中央部(Cz)与顶部(Pz)明显。

图 1 ERP 总平均图($n=13$)

视觉刺激主要诱发出 P180、N350 和晚期正成分 (late positive component, LPC). N350 最大峰分布于枕部及两侧颞后部。视觉旧词与新词产生的 ERP 成分相比较 (实线与点线), 旧词在 300~650ms 的时间范围内显示为正向变化, N350 的变化在额部 (Fz) 明显, LPC 在顶部 (Pz) 显著。

新旧效应为再认阶段中新词与旧词的差异。对 N400 波幅有显著的通路主效应, $F(2, 12) = 16.02$, $p < 0.005$, 为听觉 SCF 显著大于视觉 N350; 也有记录点主效应, $F(18, 216) = 8.49$, $p < 0.0001$, 听觉 SCF 最大峰位于 Cz (7.4 μ V) 而视觉 N350 最大峰分布于 Fz (1.9 μ V); 通路和记录点之间的交互效应, $F(18, 216) = 2.68$, $p < 0.0001$, 对 LPC 波幅有显著的通路主效应, $F(2, 12) = 10.08$, $p < 0.01$, 主要表现为视觉 LPC; 记录点主效应, $F(18, 216) = 1.88$, $p < 0.05$, 最大峰在 Pz 点; 通路和记录点之间的交互效应, $F(18, 216) = 4.11$, $p < 0.0001$ 。对 N400 潜伏期有显著的通路主效应, $F(2, 12) = 158.45$, $p < 0.0001$, 听觉 SCF 明显比视觉 N350 延后; 再认主

效应, $F(2, 12) = 32.09$, $p < 0.0001$, 旧词 N400 潜伏期短于新词 N400; 记录点主效应, $F(2, 12) = 22.98$, $p < 0.0001$ 。对于 LPC 潜伏期, 也有显著的再认主效应, $F(2, 12) = 183.04$, $p < 0.0001$, 旧词 LPC 潜伏期比新词 LPC 缩短。

进一步分析各记录点旧词与新词之间的简单效应, 旧词诱发的 ERP 波幅大于新词表现在: 听觉 SCN 无显著差别; 视觉 N350 在 F4 ($t = 2.76$, $p < 0.05$) 与 C4 ($t = 2.67$, $p < 0.05$) 点, 视觉 LPC 的 Fz、F3、F4、C4 (t 值分别为 2.32、3.08、3.13、2.19) 等 4 点的差异均达到显著性水平, 为旧词波幅大于新词。旧词潜伏期显著性短于新词的在听觉 SCN 与视觉 LPC 的所有点。

用旧词诱发的 ERP 减去新词 ERP, 得到的差异波形即为 ERP 的新旧效应。在视听通路均可见到一个持续较长的晚期大正波, 听觉 Pd (positive difference, 300~750ms) 分布于两侧颞叶后部以及两侧顶叶、枕叶, 最大峰在右半球较为显著 (图 2 上排); 视觉 Pd 分布广泛而持续时间缩短 (300~650ms), 最大

峰位于左侧顶叶、左侧颞叶后部右侧和枕叶(图2)。

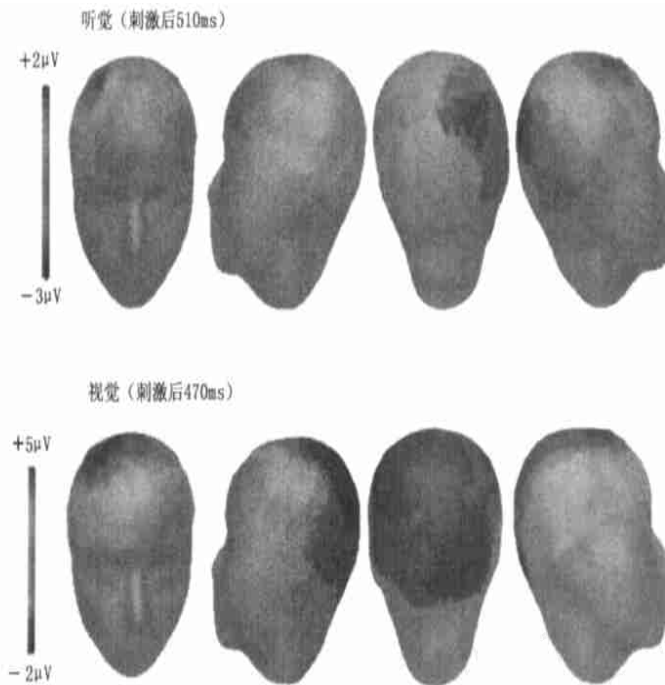


图2 ERP 差异波地形图(旧词 - 新词)

4 讨 论

本实验在听觉通路观察到一个明显的持续的中央负成分 SCN,与 Chao 等人^[8,9]的非语言额叶负波相比较,该中央负波与额叶负波的波形相似,但中央负波具有以下特点: 最大峰在头皮分布上略有后移,位于头皮中央部(Cz); 出现较早,在刺激后200ms左右开始出现,持续时间较长,跨度约600ms(参见图1左)。在罗跃嘉与魏景汉的汉字跨通路选择性注意研究中^[12,13],虽然也出现了一个以头皮 Cz 为中心分布的晚期负波,但波形与本实验观察到的中央负波并不一致:持续时间较短,在负波之前有一个明显的 P2 成分,表明中央负波并不是听觉汉字所固有的。因此,本实验结果提示中央负波为汉字听觉记忆提取的特征性 ERP 成分。既往研究认为额叶负波反映行为效应或注意加工效应,也可能与听觉期待波 CNV 有关^[8,9]。但 CNV 在视听刺激时都会出现,本实验的视听实验范式是相同的,如果中央负波与听觉 CNV 有关,也应该观察到视觉 CNV 或与之类似的成分。可是本实验结果未出现视觉中央负波,因此不支持中央负波与 CNV 在机制相同。中央负波所反映的确切神经机制值得进一步研究。

本实验听觉通路汉字记忆提取的 ERP 波形以负波(N130 与 SCN)为主,而在视觉通路则主要表现

为正波(P180 与 LPC)。听觉 SCN 主要分布于中央区与额区,视觉 LPC 最大峰在后顶区和中央区,它们皆不在各自的初级感觉区。这些结果提示视听汉字的记忆具有不同的脑机制。比较新词与旧词产生的 ERP 波形差异,无论在视觉或听觉通路,均表现为正向变化,但听觉通路的变化未达到显著性水平。对于听觉记忆存在“正走向”还是“负走向”的争论^[8-10],本实验结果表明,反映听觉汉字记忆提取的新旧效应是正走向的。考察视听新旧效应的头皮分布,听觉差异波位于两侧颞后部,视觉差异波分布于中线的顶区、中央区、枕区和颞后区。视听觉差异波皆始于300ms,听觉差异波持续较长,至750ms;视觉差异波持续较短。无论视听觉通路,差异波的头皮范围由前向后逐渐增大。根据以上特点,可以推断汉字再认的 ERP 新旧效应主要系 SCN(听觉)减小与 LPC(视觉)增大所致。

在以往的记忆报告中左右半球的比较不多。最近,Olchney 等提出 N400 的重复效应具有右半球优势,而 LPC 的新旧效应则为左半球优势^[5]。在本实验条件下,听觉通路的新旧效应为较为明显的左半球优势,而视觉通路的新旧效应在右半球略显优势(见图2)。在传统的大脑半球优势概念中,语言视听认知的优势侧均在左半球。但随着现代脑成像技术的发展,更多的实验结果提供了不同的证据与观

点,魏景汉与罗跃嘉^[14]认为大脑两个半球在汉字认知加工中的关系颇为复杂,其差异不能仅仅简单地归结为哪侧半球占优势。在某些实验条件下(如词义联想实验),左脑可能需等待右脑传来必要的信息后才开始加工,但其加工一旦开始就在一定时期内占优势。由此可见,大脑半球的优势问题应从加工起始时间与加工强度两个维度重新认识。左右脑的功能关系只不过是高级功能加工的动态过程的一个组成部分,在正常认知中,两个半球在加工时是分工与合作且不断变化的动态关系。“优势半球”概念已难以概括多维变量间的复杂关系,需要修正。本实验结果显示,听觉新旧效应为右半球优势、视觉新旧效应则出现在左侧顶叶、颞叶后部与右侧枕叶,半球优势因视听通路不同而异,再次提供了支持上述多维动态假说的电生理学证据。

参 考 文 献

- Rugg M D. ERP studies of memory. In: Rugg M D, Coles M G H ed. *Electrophysiology of Mind: Event-related brain potentials and cognition*. Oxford University Press, 1995. 132—170
- Rugg M D, Allan K. Memory retrieval: An electrophysiological perspective. In: Gazzaniga M S ed. *The New Cognitive Neurosciences*. Cambridge, Mass: MIT Press, 805—816. 2000
- Bentin S, Peled B-S. The contribution of task-related factors to ERP repetition effects as short and long lags. *Memory & Cognition*, 1990, 18: 359—366
- Swick D, Knight R T. Event-related potentials differentiate the effects of aging on word and nonword repetition in explicit and implicit memory tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 1997, 23: 123—142
- Olichney J M, Van Petten C, Paller KA, et al. Word repetition in amnesia: Electrophysiological measures of impaired and spared memory. *Brain*, 2000, 123: 1948—1963
- Smith M E, Halgren E. Dissociation of recognition memory components following temporal lobe lesions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 1989, 15: 50—60
- Van Petten C, Senfor A J. Memory for words and novel visual patterns: Repetition recognition and encoding effects in the event-related brain potential. *Psychophysiology*, 1996, 33: 491—506
- Chao L L, Knight R T. Prefrontal and posterior cortical activation during auditory working memory. *Cognitive Brain Research*, 1996, 4: 27—37
- Chao L L, Knight R T. Contribution of human prefrontal cortex to delay performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1998, 12: 167—177
- Rugg M D, Doyle M C, Wells T. Word and nonword repetition within and across-modality: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1995, 7: 209—227
- Han B X. Application of the feature information database of Chinese characters in the research of Chinese character recognition. *Journal of Development in Psychology*, 1993, 1(4): 29—35
(韩布新.《汉字信息数据库》在汉字识别研究中的应用. *心理学动态*, 1993, 1(4): 29—35)
- Luo Y J, Wei J H. The cross-modal study on ERP deviance-related components of Chinese language. *Acta Psychologica Sinica*, 1997, 29(4): 400—408
(罗跃嘉,魏景汉.跨通路识别汉字形音的偏差相关成分研究. *心理学报*, 1997, 29(4): 400—408)
- Luo Y J, Wei J H. Event-related potential on the cross-modal identification of Chinese language. *Science in China (Series C)*, 1999, 42: 113—121
- Wei Jinghan, Luo Yuejia. The ERP study of semantic association of Chinese characters with half-visual field presentation. In: Hashimoto I, Kakigi R ed. *Recent Advances in Human Neurophysiology*. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1998. 715—724

ERP EFFECTS OF RECOGNITION OF CHINESE SPOKEN AND WRITTEN WORDS AND NEURAL MECHANISM OF RETRIEVAL

Luo Yuejia Wei Jinghan Weng Xuchu Wei Xing

(*Institute of Psychology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract

Event-related potentials were recorded while 13 normal young subjects (age range 23-32 years) were recognizing Chinese words presented in either auditory or visual modality. The "sustained central negativity" (SCN) elicited by spoken words and the "late positive component" (LPC) evoked by written ones were observed, this suggested different retrieval mechanism between them. The old/new effect was significant for both recognition of written and spoken Chinese characters, that is, the old items yielded more positive-going ERP components than did the new items. However, the effect in the sound recalling is dominant over the right hemisphere and that for the written words distributes at the left parietal, posterior temporal scalp and right occipital area. The result of the present experiment proposes the concept that the "dominant hemisphere" is hard to conclude the multidimensional and dynamic relationship between hemispheres and it is necessary to be modified.

Key words Memory, Recognition, Event-related potential (ERP), Sustained central negativity (SCN), Late positive component (LPC).

www.cnki.net