

# 全视野汉字词义联想的ERP特征与 汉字认识的ERP甄别<sup>1)\*</sup>

魏景汉 匡培梓 张东松 潘焱天

(中国科学院心理研究所,北京,100012)

## 摘 要

实验刺激模式为“预备信号纯音—屏幕呈现一个提示字—屏幕呈现一个操作字”。令被试者用操作字联想出另一个字以组成词,并口述之。实验组依联想性质分为具体与抽象二项,另进行一项对照实验。每项实验的操作字皆分为认识与不认识两类。脑电记录点为 Fz, Cz, Pz, P<sub>3</sub>-T<sub>5</sub> 中点, P<sub>4</sub>-T<sub>6</sub> 中点。主要观察到:(1)词义联想引起 P<sub>3</sub> 与正慢波(PSW)波幅增大。(2)不认识字联想可导致 PSW 波幅极显著地增大和潜伏期极显著地延长。(3)无论汉字是否认识,对照组 PSW 波幅较两个实验组皆高。(4)从 PSW 中提取出了反映汉字认识与否的纯心理性 P800 成分。(5)对照组的 P800 始潜时较两个实验组皆长。这些实验结果表明,除前人提出的 PSW 具有信息加工完成之认知含义外,PSW 尚与汉字形音认知、联想等多重信息加工相关,很可能是复合波;汉字的形音义加工间存在着错综复杂的关系,难以分割;在本实验条件下可使用 PSW 或 P800 成分作为甄别汉字是否认识的客观标志。

关键词 汉字,认识,事件相关电位,正慢波,P800成分。

## 1 引 言

事件相关电位(Event-Related Potentials,简称ERP)是一项客观指标,是现代研究认知科学的有效途径之一,并可用于测谎<sup>[1]</sup>。关于ERP与人类语言信息加工的关系近年已经开展了一系列研究,但多限于英语语种,对于汉语的ERP研究甚少。在汉语语义认知中,字的认识与不认识,其脑机制有何区别,乃是心理生理学的一个基本问题。本实验拟研究汉字词义认识与否的ERP变化规律,从而为汉字认知的脑机制研究及ERP测谎研究提供新的证据。此外,已有的研究表明,意义具体的词与意义抽象的词的脑机制是不同的<sup>[2]</sup>,本实验拟探索其差异是否可在ERP上得到反映。汉字象其他文字一样,也是形体(形)、语音(音)和语义(义)的统一体,但为了探索机理,常常需要对此三要素分别进行研究,这就需要适当的实验模式。目前在语义ERP研究中常用的模式是Kutas等的畸义字模式<sup>[3]</sup>,以该模式发现了N400及其与语义的相关性,至今仍不失为重要研究方法。但该方法有其局限性,主要在于它必须使用的畸义现象为自然语言所罕见,有时会给正常语义的ERP研究带来困难。杨仲乐等的汉字词义联想模式<sup>[4]</sup>已在脑磁(ERF)研究中证明是研究汉字词义的有效方法,本实验即采用之。

1) 本文修改稿于1995年7月10日收到。

\* 国家自然科学基金资助项目。梁红与靳海燕参加了技术工作。

## 2 实验方法

被试者为14名健康大学生,年龄18—21岁,皆右利手,男女各半。实验在半隔音的实验室内进行。被试者坐在沙发椅内,头部以下颌架固定。其面前桌上放着计算机的显示器,供显示汉字之用。显示屏面与被试者距离1.5m。被试眼睛转动以EOG监视,以保证数据均系全视野下所得。EEG记录部位为10—20系统Fz, Cz, Pz, P<sub>s</sub>—T<sub>6</sub>连线中点和P<sub>s</sub>—T<sub>6</sub>连线中点,共五点。EOG记录部位为右眼外侧1cm与眉上0.5cm。接地点为前额发际下0.5cm处,参考点为双侧乳突。EEG与EOG记录电极为KOH DEN熔结式电极化电极。以OMNI专用清洁剂清理记录点皮肤,以KOH DEN导电膏与棉纱小垫将电极牢固地固定在头皮记录点上。无头发的皮肤记录点用专用胶圈固定电极。电极间电阻<5kΩ。EEG与EOG皆用KOH DEN AD-611G型高增益直流放大器放大,频率响应为0—30Hz。触发信号、刺激标志信号和实验刺激皆由IBM兼容286型计算机产生与控制。实验时将EEG、EOG、触发信号、刺激标志、分类标志等全部记录在SONY A-814型FM磁带记录器中。实验后以IBM兼容486型计算机和A/D卡离线式采样,并以本实验室之软件包进行自动校正或排除各种伪迹(包括EOG、直流漂移、溢出、体动等伪迹)、数字滤波、分类分导叠加、测量、绘图等一系列数据处理。A/D采样12bit,点间距10ms,分析时间5120ms。叠加次数45—55次。取刺激前490ms为基线。波幅为峰-峰值,峰潜时为波峰与刺激呈现之间隔,始潜时(对正波原称始降时<sup>[6]</sup>,现统一之)为ERP波动开始(上升或下降)与刺激呈现之间隔。

本实验采用的刺激呈现模式为“纯音—提示字—操作字—被试述词—…下次纯音”。纯音由计算机喇叭发出,为800Hz,持续220ms。提示字与操作字皆呈现于计算机荧屏中央,呈现时间为1000ms,字体大小与被试者构成的视角为1度。纯音与提示字之间隔为1210ms,提示字消失至操作字出现之间隔为500ms,每二次(Trial)刺激之间隔为4400ms。

实验依联想性质分为具体与抽象两项,并设一项对照实验,每项实验中的操作字皆分为认识与不认识两类。主试根据实验前对被试者的测试,对认识的操作字和不认识的操作字做相应调整。

**2.1 具体字联想实验** 每次刺激中的提示字与操作字音同形似,例如,提示字为“丁”,则操作字为“钉”;提示字为“防”,则操作字为“房”。认识的操作字皆为“具体字”,即由它组成的双字词只能是具体的东西(包括动物)。令被试者听到短纯音时集中注意力并眼盯荧屏中央,提示字出现后识记其读音与字形,操作字出现后根据其义联想出另一个字,且组成双字词,并尽量在头脑中再现该词所代表的事物的形象。由于在操作字出现前被试者已根据提示字知道了操作字的音和部分形状,因此,当操作字出现时,被试减少了对操作字形与音的认知而突出对义的认知。对不认识的字,令被试者根据提示字提供的形、音信息尽量猜测字义并进行联想。在操作字从荧屏上消失后,令被试者口头报告他(她)组成的词。遇不认识的操作字,则说“不认识”。本项实验共进行120次刺激,即操作字与提示字共120对。其中操作字认识与不认识者各60个,以伪随机顺序呈现。在数据处理时将认识字与不认识字所引起的ERP分别叠加,以便对比。正式实验前令被试者练习20余次,以学会操作。

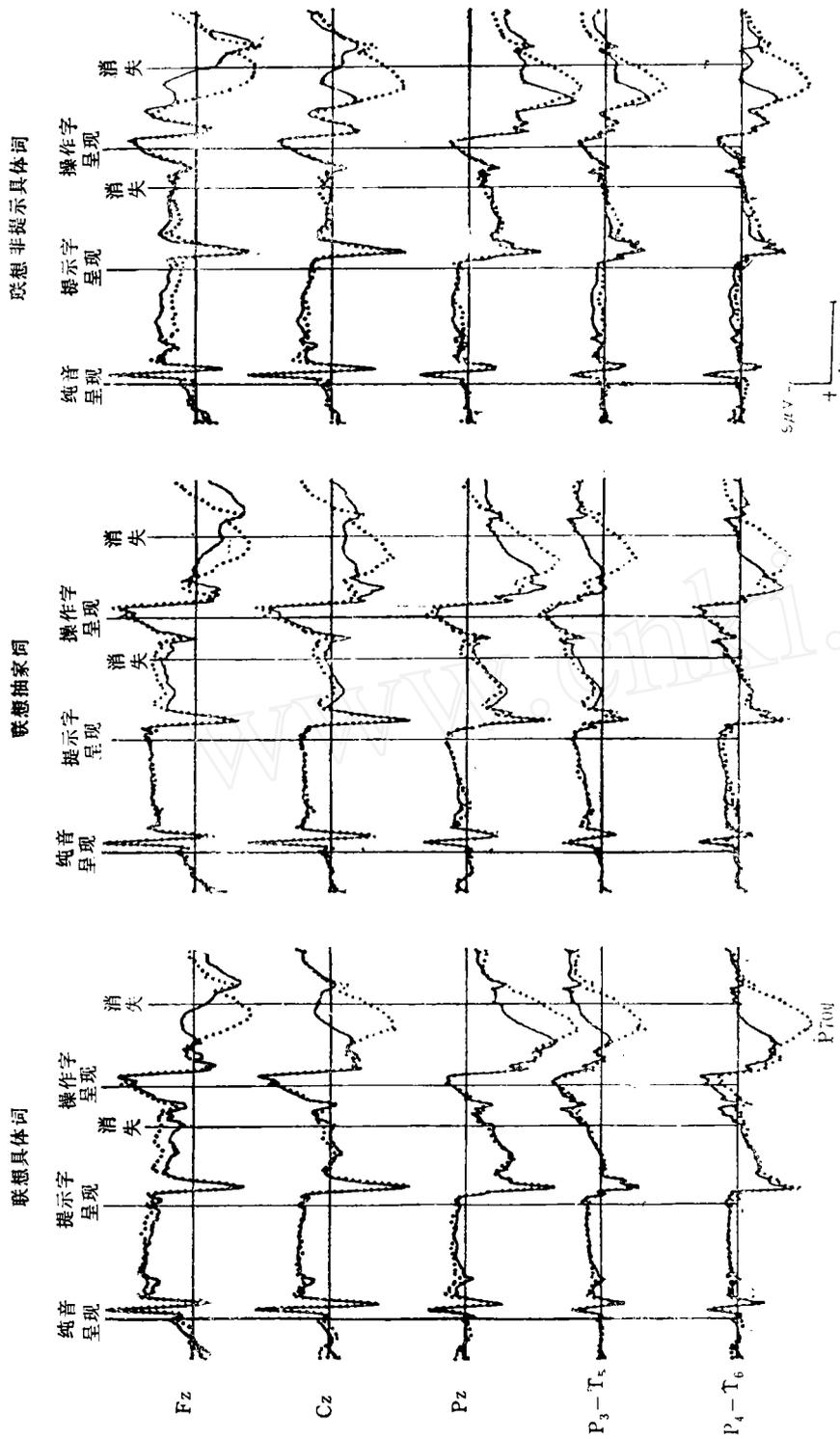


图 1 全视野汉字词义联想总平均图  
实线为认识操作字时的 ERP, 点线为不认识操作字时的 ERP

**2.2 抽象字联想实验** 其认识的操作字皆为“抽象字”，即由其联想出的另一个字组成的双字词词义只能是抽象的。不要求被试者在头脑中再现形象。余同具体字联想实验。

**2.3 非提示对照实验** 提示字与操作字形音义皆异，即操作字的联想前并无形与音的预加工，余同具体字联想实验。

每名被试者都做上述三项实验。实验顺序在被试者间作了平衡。数据统计采用AN-OVA法。

### 3 实验结果与讨论

将全部 14 名被试者的 ERP 做总平均，总汇为图 1。该图纵列三项实验，横排 5 个记录点。图 2 为具体词义联想 Pz 点放大图，作为范例标出了有关波名及刺激的呈现、消失时刻。

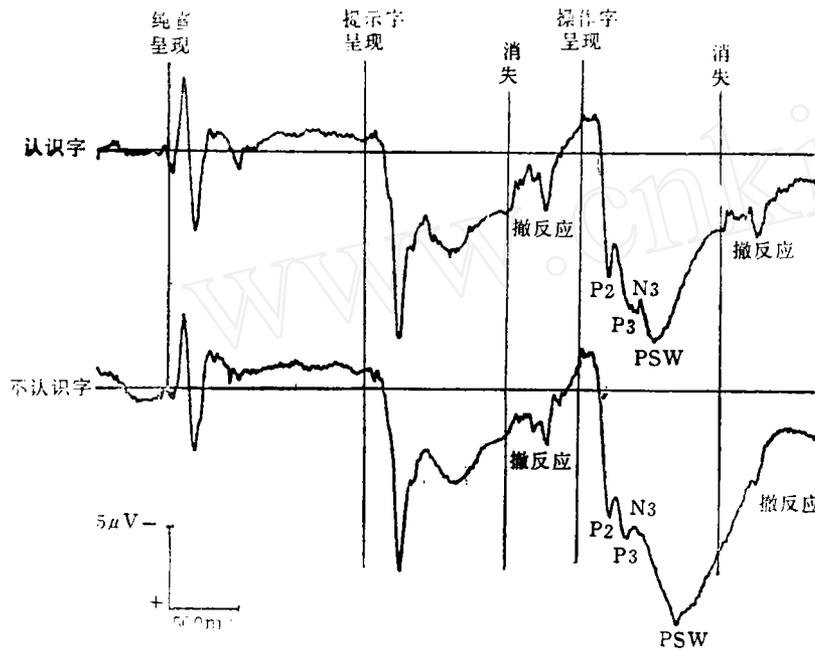


图 2 全视野汉字具体词义联想 Pz 总平均图

#### 3.1 视觉 ERP 的撤反应

从图 2 中可以明显看出，提示字与操作字的消失皆诱发出了一组 ERP，这是视觉 ERP 的撤反应。经测量，其最大的 P2 波幅为刺激呈现时的约 1/6，各记录点不同，Fz 较大。如果这种撤反应发生在被研究的 ERP 成分出现之时，则互相重叠，使被研究的 ERP 成分失真。为此，本实验采用长达 1 秒的汉字呈现时间，以避免撤反应对 ERP 各晚成分的影响。

#### 3.2 操作字与提示字 ERP 之差异，LPC 与词义联想的相关性

在三项实验中无论操作字是否认识，它与提示字引起的 ERP 皆出现了显著差异。其主要差异在于操作字引起了较大的 P3 与正慢波 (positive slow wave, 通称 PSW)。从总

平均图可以观察到,提示字的 P2 后肢(升肢)发育完善,在 Fz 与 Cz 恢复到了 P2 起始水平。在顶部三点(Pz, P<sub>3</sub>-T<sub>5</sub>, P<sub>4</sub>-T<sub>6</sub>),提示字的 P2 后肢虽受 P3 出现的影响未恢复到起始水平,但 P3 后肢得到了较充分的发育。而操作字 P2 的后肢刚一出现,就扭转了方向:EP(evoked potentials, 诱发电位)转而向下(正),形成 P3。未待 P3 后肢充分发育,EP 方向再次扭转而向下(正)偏转,直至达到峰顶,然后向上(负)偏转,从而形成了明显的 PSW。该 PSW 于认识的操作字呈现后约 550ms 达到峰顶,在不认识的操作字呈现后约 780ms 达到峰顶。提示字与操作字的物理属性相同,区别仅在于它们启动了不同的认知过程。对提示字,被试者的任务是认识它,包括认识其形、音、义。对操作字,被试者的任务是在已知形、音(部分)的基础上,认识其义,并据此联想出另一个字,组成双字词。可见,在本实验条件下 P3 与 PSW 的增大主要与词义联想相关。P3 与 PSW 早已被区分为两种波<sup>[6]</sup>,并各含不同的成分;P3、PSW 及 P2 后出现的其他正成分可统称后正复合体(late positive complex, 通称 LPC)<sup>[7]</sup>,因此,本实验结果可描述为 LPC 与词义联想相关。

### 3.3 操作字后 P3 的特征, P3 与词义加工相关

实验结果表明, P3 于 360ms 左右达到峰值。认识的操作字所产生的 P3 波幅大于不认识的操作字所产生的 P3 波幅。在 Pz, P<sub>3</sub>-T<sub>5</sub>, P<sub>4</sub>-T<sub>6</sub> 三个点达到了统计学显著水平( $P < 0.05$ )。本实验室关于情绪 ERP 的研究<sup>[8]</sup>及 Donchin 等的系统研究结果<sup>[9]</sup>一致证明, P3 是在被试完成了分类或评价后才出现的。Donchin 尚提出 P3 波幅反映表征更新<sup>[9]</sup>。以此解释本实验结果,可以认为,若操作字是认识的,则进入工作记忆的信息较多,表征更新量较大,于是 P3 波幅较高。若操作字是不认识的,在短暂的呈现时刻难以记忆其字形,进入工作记忆的信息较少,表征更新量较小,致使 P3 波幅较低。虽然这种理论对文字认知的直接解释有待进一步实验验证,但是,操作字认识与否所产生的 P3 波幅不同则说明在 P3 时程内已经进行了词义加工。

### 3.4 操作字后 PSW 的特征

#### 3.4.1 PSW 在认识字联想与不认识字联想时之差异, PSW 与词义后的联想加工相关

表 1 列出了 PSW 的波幅与峰潜时平均值。从图 1 与表 1 都可以明显地看出,在三项实验的五个记录点上,不认识的操作字所产生的 PSW 波幅皆显著大于认识的操作字所产生的 PSW, 各项实验的各个记录点皆达统计学非常显著水平( $P < 0.001$ )。前者的峰潜时也显著长于后者, 各项实验的各个记录点也皆达统计学非常显著水平( $P < 0.001$ )。这些变化规律与上述 P3 或者相反或者不同, 这说明 PSW 与 P3 代表的不是同一认知阶段, 在 PSW 出现时 P3 所代表的认知阶段已经完成而进入了下一个阶段: 联想阶段, 很可能在 P3 时程内已经完成了词义加工。统计结果表明, 汉字认识与否引起的 PSW 的始潜时间并无差异。从图 1 也可看出, 二者是在前肢发育中才发生分歧的, 前者先向基线折返, 后者在其后 200ms 以后折返, 可见认识字与不认识字引起的 PSW 是同一种波。由于汉字认识与否的联想引起的 PSW 存在极为显著的差异, 所以 PSW 不仅反映联想本身, 还反映汉字认识与否在联想阶段的区别。在本实验中, 当遇到不认识的操作字时, 被试者的任务不是停止汉字认知活动, 而是要根据提示字所赋予的形与音去尽量猜想词义并联想, 这种认知加工较操作字认识时的认知加工消耗的资源大, 恢复或反弹随之也大。这应该是造成 PSW 波幅更高、峰潜时延长的原因。同时这些实验结果表明, 在本实验条件下可使用 PSW 作

表 1 PSW 的波幅与峰潜时平均值

	波 幅 ( $\mu\text{v}$ )					
	具体词联想		抽象词联想		非提示词联想	
	认识	不认识	认识	不认识	认识	不认识
Fz	1.8±0.2	8.2±0.8	1.4±0.1	8.5±0.7	4.4±0.5	12.9±2.1
Cz	1.2±0.2	6.2±1.1	0.9±0.1	6.4±1.4	6.7±0.6	11.0±2.4
Pz	2.6±0.4	6.0±1.3	1.0±0.2	5.6±1.0	7.5±1.3	8.2±1.4
P <sub>3</sub> -T <sub>4</sub>	2.1±0.2	6.4±1.1	0.7±0.1	6.4±1.4	6.4±0.9	7.9±0.8
P <sub>1</sub> -T <sub>4</sub>	1.3±0.2	4.8±0.7	0.5±0.1	4.0±0.5	4.2±0.7	6.6±0.9

	峰 潜 时 (ms)					
	具体词联想		抽象词联想		非提示词联想	
	认识	不认识	认识	不认识	认识	不认识
Fz	540±70	900±100	540±40	910±90	580±60	1010±90
Cz	530±50	700±60	540±40	750±50	570±50	780±60
Pz	530±70	700±40	540±40	710±50	580±30	740±40
P <sub>3</sub> -T <sub>4</sub>	530±70	700±50	550±30	750±50	580±30	740±40
P <sub>1</sub> -T <sub>4</sub>	530±60	760±70	530±30	750±60	570±60	750±70

注：表内数值为均值±标准误。

为判断被试是否认识各个汉字的客观标志。

#### 3.4.2 PSW 的组间差异, PSW 与形音加工相关

从表 1 可以看出, 在三项实验联想中, 无论汉字是否认识, 对照组的 PSW 波幅较两个实验组皆高(差值平均 $>3\mu\text{v}$ )。统计结果显示达到了非常显著的水平( $P<0.001$ )。在本实验中, 对照组缺少形音的预加工, 是它与实验组的唯一区别。因此只能认为这种波幅差异系多余的形音加工所致, 说明 PSW 尚与认知中形音的加工相关。

#### 3.4.3 PSW 的分布及其非特异性, PSW 很可能是复合波

从表 1 可以看出, PSW 波幅在各记录点的分布并不一致, 其波幅多以 Fz 点较大, 但点间差异在统计学上未达显著水平。ERP 是脑内神经元动作电位的综合结果, 各波与脑内结构的对应关系是很复杂的。PSW 波幅最大处不在接近高级整合区的 P<sub>3</sub>-T<sub>4</sub> 或 P<sub>1</sub>-T<sub>4</sub>, 而在头皮中线, 可能意味着 PSW 象 ERP 的不少其他波一样, 不是特异性波。上述结果(3.4.1 与 3.4.2)证明 PSW 既与词义后的联想加工相关, 又与形音加工相关, 也说明它与脑内多重信息加工过程相关, 为非特异性波, 很可能是复合波, 对它进行进一步分解是必要的。一般认为, PSW 与信息加工完成相关<sup>[10]</sup>, 本实验结果表明该提法应予补充。

#### 3.4.4 P800 成分之获得及其含义

现以不认识的操作字引起的 ERP 为被减数, 以同项实验认识的操作字引起的相同记录点 ERP 为减数, 进行相减, 则此差值只与汉字认识与否相关, 其他因素皆被减掉; 此差值构成的成分为纯心理性成分, 绘为图 3。从图 3 可以看出, 三项实验全部记录点均于操作字后约 800ms 出现了一个相似的正成分, 说明这是一种规律。在此将该差异成分标记为 P800, 将其波幅、始潜时、峰潜时的测量数据列于表 2。从表 2 可以看出, 对照组 P800

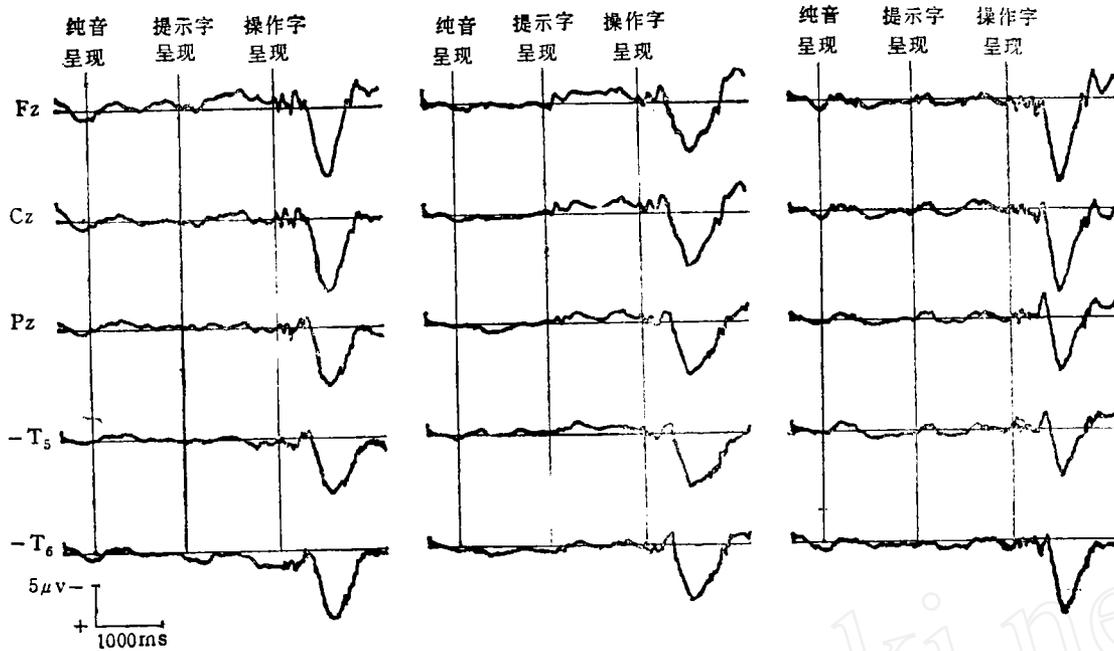


图3 汉字认识与不认识的ERP差值总平均图  
左列为具体字联想实验,中列为抽象字联想实验,右列为非提示对照实验

表2 P800的波幅、始潜时与峰潜时平均值和标准差

	波 幅 ( $\mu\text{V}$ )			始 潜 时 (ms)			峰 潜 时 (ms)		
	具体联想	抽象联想	非提示联想	具体联想	抽象联想	非提示联想	具体联想	抽象联想	非提示联想
Fz	11.7 $\pm$ 1.5	10.2 $\pm$ 1.2	10.3 $\pm$ 1.3	400 $\pm$ 60	370 $\pm$ 50	550 $\pm$ 70	830 $\pm$ 80	800 $\pm$ 90	810 $\pm$ 80
Cz	11.5 $\pm$ 1.2	11.0 $\pm$ 1.1	11.0 $\pm$ 1.2	400 $\pm$ 40	370 $\pm$ 40	560 $\pm$ 60	830 $\pm$ 70	760 $\pm$ 80	780 $\pm$ 70
Pz	9.2 $\pm$ 1.1	8.3 $\pm$ 0.8	9.6 $\pm$ 0.7	490 $\pm$ 50	460 $\pm$ 40	560 $\pm$ 50	830 $\pm$ 50	760 $\pm$ 70	780 $\pm$ 60
P <sub>1</sub> -T <sub>1</sub>	8.2 $\pm$ 1.0	8.1 $\pm$ 1.3	7.6 $\pm$ 0.9	490 $\pm$ 60	560 $\pm$ 50	530 $\pm$ 60	820 $\pm$ 70	750 $\pm$ 80	780 $\pm$ 70
P <sub>1</sub> -T <sub>1</sub>	9.5 $\pm$ 1.2	8.3 $\pm$ 1.0	9.1 $\pm$ 1.1	410 $\pm$ 40	460 $\pm$ 50	570 $\pm$ 60	780 $\pm$ 70	770 $\pm$ 70	780 $\pm$ 70

的始潜时较两个实验组皆长,相差约120ms,统计结果显示达到了非常显著的水平( $P < 0.001$ )。三组的峰潜时未见显著差异,后肢恢复时间亦未见显著差异,即差异仅发生在P800前肢。在本实验中,对照组缺少形音的预加工是与实验组的唯一区别。因此这个现象可能意味着实验组与对照组相比,汉字认识与否的形音加工具有更大的区别,或者意味着PSW中具有其他与形音加工相关的未知成分;在此形音义认知后的联想期又出现形音加工,意味着形、音、义和联想加工的反复与重叠,形音义关系错综复杂,难以分割,值得重视。无论如何,P800反映的是汉字认识与否的词义加工的区别,可作为判断被试是否认识所用汉字的客观标志。

由图3可以看出,每条ERP曲线在操作字后约300ms处(即P3波峰处)均出现了一负偏转形成的波峰。参照图1,可看出这是P3因汉字认识与否而产生的差异。这是P3与PSW变化规律不同的又一证据。由图3可知,操作字前未产生差异波,表明本实验模式具有可靠性。

### 3.5 具体字与抽象字联想 ERP 之差异

从表 1 可以看出,在认识的操作字引起的PSW波幅中,具体字联想时有大于抽象字联想的趋势,尤以后部三个记录点(Pz, P3-T5, P4-T6)为甚,但未达统计学之显著水平( $0.1 > P > 0.05$ )。具体字与抽象字联想之差异在于是否可以再现表象,因此,这一结果提示,在本实验条件下 ERP 未能明确反映这一差异,不过尚可就这一问题继续开展研究。

## 4 结 论

在本实验条件下的汉字认知过程中,PSW 与 P3 具有不同的认知含义。PSW 不仅反映着信息加工的完成,而且与字词形音认知、联想等多重认知过程相关,并从中提取出了 P800 成分,说明 PSW 可能是复合波。P800 的特征说明脑内汉字形音义加工关系错综复杂,难以分割。在本实验条件下可使用 PSW 或 P800 成分作为甄别汉字是否认识的客观标志。

### 参 考 文 献

- 1 Coles M G H. Event-related brain potentials. In: Principles of psychology: Physical, social, and inferential elements. Cacioppo J T, Tassinari L G. eds. Cambridge, NY: Cambridge University Press, 1990: 413—455.
- 2 Elman J L, Takahashi K, Tohsaku Y-H. Lateral asymmetries for the identification of concrete and abstract kanji. *Neuropsychologia*, 1981, 19: 402—407.
- 3 Kutas M, Hillyard S A. Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 1980, 207: 203—205.
- 4 杨仲乐,魏景汉,匡培梓等.汉语词义联想中大脑两半球联合区的脑磁图变化.见:匡培梓,张嘉荣.中国语文——认知科学第五届国际研讨会论文集选编,北戴河,1990;北京:科学出版社,1992. 199—203.
- 5 Wei Jing-han, Zheng Lian-xing. Appearance of two-level CNV and extrication wave and the explanation of psychological factors of CNV. *Intern. J. Neuroscience*, 1987, 32 (3—4): 747—756.
- 6 Squires N K, Squires K C, Hillyard S A. Two varieties of long latency positive wave evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroenceph. and Clin. Neurophysiol.*, 1975, 38: 387—401.
- 7 Friedman D, Vaughan H G Jr., Erlenmeyer-Kimling L. Stimulus and response related components of the late positive complex in visual discriminations tasks. *Electroenceph. and Clin. Neurophysiol.*, 1978, 45: 319—330.
- 8 魏景汉,潘天等.解脱波(EML)与情绪的相关性.中国科学, B辑, 1993; (2): 166—171.
- 9 Donchin E, Coles M G H. On the conceptual foundations of cognitive psychophysiology: A reply to comments. *Behavioral and Brain Sciences*, 1988, 11: 408—427.
- 10 Ruchkin D S Jr., Johnson R, Canoune H L, et al., Multiple Sources of P3b associated with different types of information. *Psychophysiology*, 1990, 27(2): 157—176.

## THE ERP CHARACTERISTICS OF MEANING ASSOCIATION AND THE IDENTIFICATION OF KNOWN AND UNKNOWN CHINESE CHARACTERS IN THE WHOLE VISUAL FIELD

Wei Jinghan, Kuang Peizi, Zhang Dongsong, Pan Rautian

*(Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences)*

### Abstract

The experimental stimuli paradigm was, warning tone—priming character — operating character. The task of the subjects was to associate a character which should match the operating character and form a word with it. Experiment was divided into two items according to the categories of the associations, concrete and abstract. A control item was conducted. The operating characters were divided into known and unknown characters in every item. The EEG electrodes were fixed at Fz, Cz, Pz, midpoint of P3-T5 and midpoint of P4-T6. It was observed that, (1) Chinese word-meaning association evoked greater amplitudes of P3 and positive slow wave (PSW). (2) The unknown character association invoked stronger increase in peak latency and amplitude of the PSW than the known character association did. (3) The PSW amplitudes which induced by both known and unknown characters associations of control item were the largest in the three items. (4) A pure psychological component P800 was extracted from PSW, it was the companion of the features of unknown character alone. (5) The P800 onset latency of the control item was the longest in the three items. The results proposed that PSW not only reflected the completion of a processing in the brain, but also related to the multiple processing of the sound, form, meaning and the association of Chinese characters. These proposed that it was a composite wave. The sound, form and meaning of Chinese characters have an intricate relationship and it is difficult to cut them apart. The PSW and P800 could be used as an indicator to identify whether the Chinese characters are known or unknown by the subjects in the present experimental conditions.

**Key words** Chinese character, known, ERP, PSW, Component P800.