

不同加工与记忆编码关系的 ERP 研究*

郭春彦¹ 朱 滢² 丁锦红¹

(¹首都师范大学心理系,北京 100037) (²北京大学心理系,北京 100871)

范思陆

(中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要 通过事件相关电位(ERPs)记录,探讨了深、浅 2 种加工与记忆编码的相互关系。研究结果表明,(1)在深、浅两种加工条件下,首次使用汉字材料,获得了 ERP 相继记忆效应(Dm),随后再认正确的 ERPs 比随后再认不正确的 ERPs 有更大的晚正成分。(2)深加工的 Dm 效应始于 N2 波的前支(230~280 ms)和 N2 波之后(395~800 ms);而浅加工的 Dm 效应发生在 345~490 ms 之间。深、浅加工的 Dm 效应涉及不同的脑区,这一结果支持深、浅两种加工的 Dm 效应可能是分离的结论。

关键词 事件相关电位,相继记忆效应,记忆编码。

分类号 B842.3

1 引 言

关于人类记忆的基本问题是,大脑在什么部位、什么时间、以什么方式储存已往的经验?又是怎样提取和利用这些储存信息的?通过事件相关电位(ERPs, Event-Related Potentials)所具有的高时间分辨率,可以研究认知加工的精细过程;通过 ERPs 头颅分布所反映的不同神经活动模式,可以区分不同的认知过程^[1]。

已有许多研究者,在大量行为研究和神经心理研究基础上,探讨了学习阶段的大脑电活动与记忆编码过程之间的关系^[2~5]。Sanquist 等人最早进行了记忆编码过程相继记忆效应的研究,该研究将学习阶段所诱发的 ERPs,按照随后记忆测验的正确与否进行分类,观察到随后记忆正确的 ERPs 比随后记忆不正确的 ERPs 有更大的晚正成分。他们将这两类 ERPs 的差异称为相继记忆效应(Subsequent Memory Effects)^[11]。Paller 等人也进行了同类的研究,并发现了同样的结果,他们称之为 Dm 效应(ERP Differences based on later Memory performance)^[2,3],并提出,Dm 效应可能提供了被记住事件编码的测量^[3]。更有意义的是,多项研究表明,记

住已往经验的能力受许多因素的影响,如:编码时的加工操作类型,编码和提取操作之间的交互作用等^[6~13]。

Paller 等人研究了两种加工条件下的自由回忆的 Dm 效应。被试执行两种编码任务,其一是要求被试对所呈现的词判断‘有兴趣’或‘没有兴趣’(浅层编码任务),其二是判断所呈现的词‘可食用’或‘不可食用’(深层或语义任务)。实验结果表明,自由回忆所对应编码任务的单词有明显的 Dm 效应,随后回忆了的单词比没有回忆的单词有显著大的正波,在中线的三个位置 Fz、Cz 和 Pz 几乎相同。并且仅在以下三个时程存在 Dm 效应(400~500ms、500~600ms、600~700ms)^[3]。Paller & Kutas 以字母判断任务(计算字母‘e’在单词中出现的次数)作为浅层加工条件,以图像判断任务(字词所指代的对象大于或小于呈现单词的监视器)作为深层加工条件,他们获得了深层对浅层的‘Dm 优势效应’,但并不十分明显。浅层字母判断任务未发现 Dm 效应,而深层编码任务表现出后来正确再认的单词比后来未被再认的单词有更大的正波(600~800ms)^[4]。Friedman 等人进行了比较深(判断单词是否为动物名词)、浅加工(判断单词的第一个字母和最后一个

收稿日期:2002-04-12

* 国家自然科学基金项目(30170322)、国家攀登计划项目(95-专-09)资助,国家科技部专项(2002 CCA01000)资助。

字母与字母表是否有相同的顺序)相继记忆效应的研究。结果显示,在深、浅两种加工任务条件下,都存在 Dm 效应(深加工条件下比浅加工稍大,但不显著)^[6]。有关深(具有语义特征)、浅(非语义特征)加工相继记忆效应的研究表明,具有广泛意义的语义加工的 Dm 效应,比仅仅涉及注意刺激项目的结构或物理特征的 Dm 效应更强^[13]。

在已往的 Dm 研究中,研究者多采用 32 导或更少电极数量的记录,因此,关于 Dm 研究的空间分辨率显得不足,而且,有关不同加工方式 Dm 效应头颅分布的报道也较少;至于不同加工方式 Dm 效应在时间上的关系,迄今也不完全清楚。

此外,已往关于 Dm 效应的研究材料均使用英文或其它拼音文字,尚未见到以汉字作为刺激材料的研究报告。

本实验采用 128 导脑电记录方法,通过汉字单字词“学习-再认”的 ERP 实验模式,研究记忆编码过程与加工方式、ERPs 时间过程和空间分布之间的关系,借以探讨记忆编码过程的脑机制。

2 方法

2.1 被试

17 名本科大学生(女 10,男 7)参加本实验,并给予有限报酬。其年龄 22~23 岁,平均 22.5 岁;全部为右利手,直系亲属也均为右利手;视力或矫正视力均在 1.0 以上。

2.2 刺激材料

每个学习组 114 个汉字(填充词:4 个;靶词:14 个;学习词:96 个),每个再认组 192 个汉字(新词:96 个,在学习组学过的词 96 个),共有 6 个学习组和 6 个再认组,学习组又分为 3 个深加工学习组和 3 个浅加工学习组。所用刺激材料总数为 1260 个汉字单字词。深加工学习组的靶词为动物名词;浅加工学习组的靶词为黑体字,其它词均为楷体。靶词被随机插入在学习组中,填充词放在学习词组的首位和末尾。

各组之间的字频与笔画均经过平衡处理。字频在 2.3/百万到 350/百万之间,各组平均字频为 47.73/百万到 48.2/百万,总平均 47.77/百万。笔画在 5 到 13 之间,各组平均笔画为 8.8 到 9.7,总平均 9.14。

2.3 实验程序

被试坐在隔音电磁屏蔽室内的沙发里,要求注视一台 14" 计算机显示器屏幕中央的注视点。显示器背景为黑色,前景为白色,视距为 60cm,每个汉

字视角为 $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ 。本实验采用“学习-再认”实验模式:

(1)学习阶段:被试对每个呈现在屏幕中央的单字词进行深加工或浅加工。深加工任务是判断一个词是否动物词?并只对动物词(靶词)作按键反应。浅加工任务是判断一个词是否黑体词?并只对黑体词(靶词)作按键反应。按键的左右手在被试之间平衡。深加工时,每个词的呈现时间为 200ms,呈现间隔(ISI)为 1600 ± 200 ms;浅加工时,每个词的呈现时间为 100ms,ISI 为 900 ± 200 ms。深、浅加工的顺序在被试间平衡。

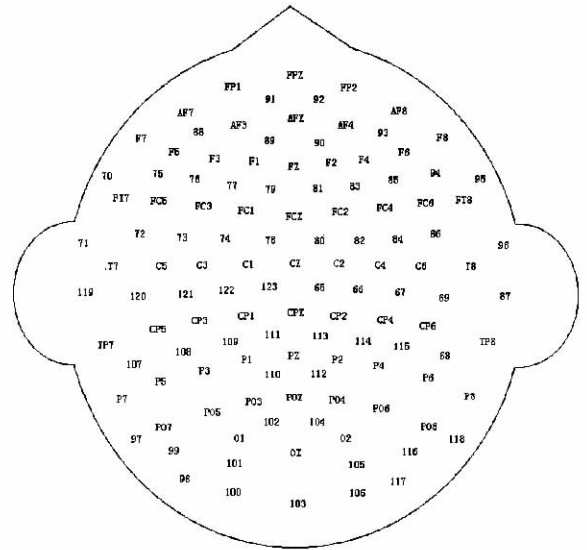


图 1 128 导电极分布图

(2)分心作业:每组学习任务结束后,立即指导被试进行 1 分钟的倒减 3 运算,以阻止被试对刚学过的项目进行复习。

(3)再认测验:被试以左和右手分别按两个反应键,用以判断一个词在学习阶段是否见过?左、右手所对应的反应键在被试之间进行平衡。要求按键既快又准确。每个词的呈现时间为 500ms,ISI 为 2100 ± 200 ms。

2.4 ERPs 的记录与获得

采用 ESI—128 脑电记录系统和 Ag/AgCl 电极帽(美国 NeuroScan 公司),连续记录学习阶段 119 个单极导联的脑电(EEG)。电极位置采用 10—20 扩展电极系统(图 1),所有电极位置坐标都用三维数字化仪进行精确测量和记录。两个导联用于垂直和水平眼电(EOG)记录。参考电极置于左耳乳突处,接地点在 Fpz 和 Fz 连线的中点。滤波带通为 0.05—40Hz,A/D 采样频率为 250Hz。电极与头皮接

触电阻均小于 $5K\Omega$ 。对脑电纪录的迭加平均处理是脱机进行的,然后再以左右乳突的代数平均作为参考电压进行修正。ERPs 的观察窗为 $-200 \sim 1200$ ms,用 -200 ms ~ 0 ms 的平均振幅对基线进行矫正。伴有眨眼、眼动、肌电等伪迹的数据均被排除。学习阶段非靶刺激诱发的 ERPs 是根据再认测验结果进行分类迭加的,从而获得深、浅两种加工下记住与未记住共 4 种条件的 ERPs 曲线。

2.5 ERP 数据分析

首先借助 t 检验方法,每 16ms 为一段,逐段进行记住与未记住 ERPs 差异(即 Dm 效应)的统计检验,并结合波形、地形图、以及各种实验条件等,确定三个反映 Dm 效应的主要测量分析时段:①N2 前支(本文称其为 fbN2, the front branch of N2):它在 N2 峰之前,即在 N2 峰的升支上,时段为 230 \sim 280ms;②晚正成分前期(本文称其为 LPC1, Prophase of late positive component):它是 N2 后的正变化,对于深、浅加工,该时段稍有不同(见 3.4),分别为 395 \sim 600ms、345 \sim 490ms;③晚正成分后期(本文称其为 LPC2, Anaphase of late positive component):是位于 LPC1 之后的晚正成分,深、浅加工的相应时段也分别为 600 \sim 800ms、490 \sim 690ms。对于这 3 个时段,采用平均振幅测量法。

对于其它时段的 ERPs 也进行了分析测量,包括 P1, N1, fP2(额区和额中央区的 P170), P2, N2。对于这些时段,采用峰振幅与峰潜伏期测量法。

对于测量结果,基本采用 4 因素重复测量的方差分析(Repeated - Measure ANOVA)。分析因素包括加工(2 个水平:深、浅)、记忆(2 个水平:记住、未记住)、脑区(5 个水平:额区、额中央区、中央顶区、顶枕区、枕区)、与电极位置(3 或 2 个水平:左、中、右,或者左、右)。部分分析少于 4 因素,部分分析做了 Dm 效应的峰潜伏期分析。电极位置的脑区划分是:额区(F5、Fz、F6),额中央区(FC3、FCz、FC4),中央顶区(CP5、CPz、CP6),顶枕区(PO7、POz、PO8),枕区(O1、Oz、O2)。

上述分析使用 SPSS 软件包进行,同时使用了 Greenhouse - Geiss 校正法。

3 结果

3.1 行为数据结果

学习阶段,被试对深、浅两种加工靶词的判断正确率分别为 97.75% 和 96.92%,没有加工的显著性差异;但深加工对靶词的反应时比浅加工长约

93ms,具有统计显著性意义。再认阶段,深加工的平均再认正确率比浅加工高约 13%,也具有统计显著性(表 1)。

表 1 两种加工编码反应时和提取正确率的比较

任 务	编码反应时(ms)		提取正确率(%)	
	深加工	浅加工	深加工	浅加工
均 值	537.66	444.56	60.54	47.94
标准误	15.75	12.09	2.29	2.10
p 值	<0.001		<0.001	

3.2 ERPs 的基本特征

总体观察,4 种条件下的 ERPs 曲线在基本特征上具有相似性。首先,可以观察到一般的视诱发反应,即以枕区(PO7/PO8)为主的 P1(平均潜伏期 104ms)、N1(平均潜伏期 147ms)、P2(平均潜伏期 190ms)以及呈三角形的 N2(潜伏期 320 \sim 340ms,在顶枕区,如 PO7,由 P2 开始上升到 N2 的峰值,之后下降到 N2 后支,形成三角形)。与一般视诱发反应不同的是,本实验还获得一个特征性很强的、分布于额区和额中央区的高幅尖波 fP2 或 P170(平均潜伏期 170ms)。在 fP2 之前,总伴有一个以额中央区(FC3/FC4)为主的低幅尖形 N90 波(平均潜伏期 98ms),见图 2、3、5。

3.3 相继记忆效应(Dm)的 ERPs

在深、浅加工 2 种条件下,比较记住与未记住的 ERPs, P2 及其以前的成分都没有表现出任何差异。统计表明, Dm 效应仅存在于 fbN2、LPC1 和 LPC2。

fbN2 是最早出现 Dm 效应的时段,即在 230 \sim 280ms。此段的 Dm 效应以额区(F5/F6)分布为主,最大 Dm 效应的潜伏期为 248ms。而且,fbN2 的 Dm 效应仅出现于深加工条件下额区和额中央区(加工 \times 位置 \times 记忆 3 因素交互作用效应: $F(4, 64) = 5.239, p < 0.03$; 简单效应: $F(1, 16) = 4.61, p < 0.05$),见图 2、4a。

与 fbN2 不同,深、浅加工的 LPC1 都出现 Dm 效应,而且,始于 N2 的后支或稍晚。深加工的 Dm 效应主效应 $F(1, 16) = 9.025, p < 0.008$ 。同时,加工 \times 位置 \times 记忆的交互作用 $F(4, 64) = 9.088, p < 0.005$,进一步的简单效应表明,深加工在额区和额中央区的 Dm 效应为 $F(1, 16) = 9.78, p < 0.006$ 和 $F(1, 16) = 10.60, p < 0.005$,而在枕区和中央顶区为 $F(1, 16) = 1.67, p > 0.05, F(1, 16) = 3.00, p > 0.05$ 。因此,深加工的 Dm 效应主要表现在额区和额中央区。相对照地,浅加工在额区与中央区的

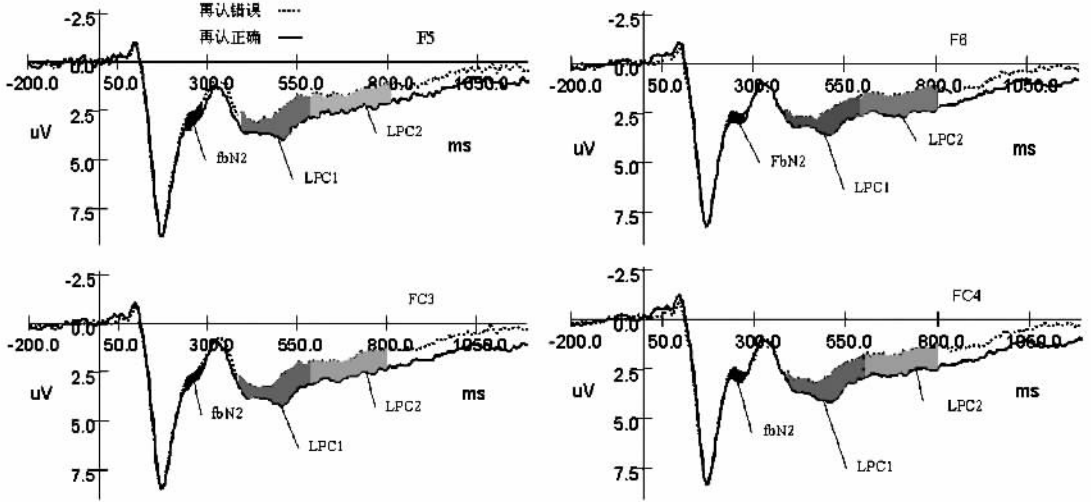


图2 再认正确与错误记忆编码 ERPs(深加工条件 Dm 效应)

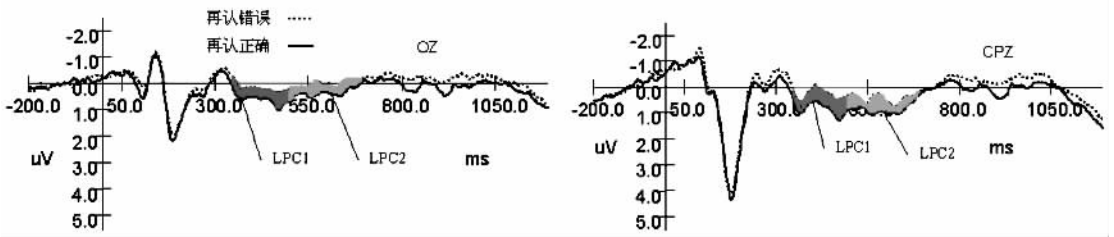


图3 再认正确与错误记忆编码 ERPs(浅加工条件 Dm 效应)

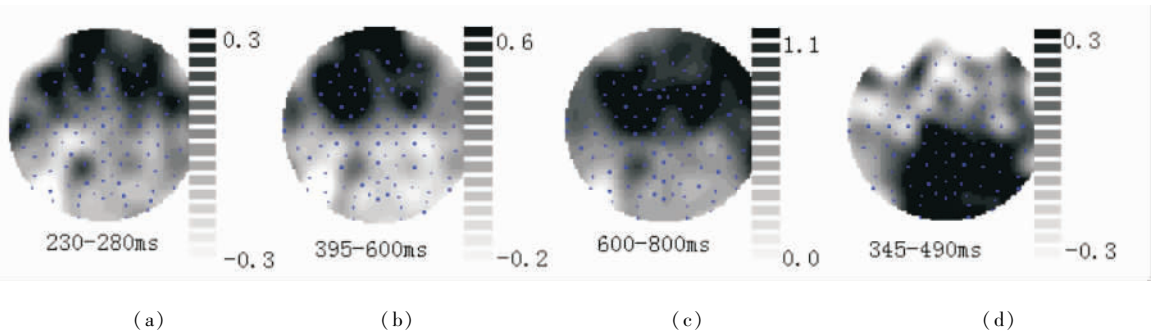


图4 记住-未记住 ERP 差异波地形图。a、b、c 为深加工不同时段(fbN2、LPC1、LPC2),d 为浅加工的一个时段(LPC1)

Dm 效应为 $F(1, 16) = 3.31, p > 0.05$, $F(1, 16) = 3.99, p > 0.05$,但在枕区和中央顶区则为 $F(1, 16) = 5.44, p < 0.04$, $F(1, 16) = 4.82, p < 0.045$ 。可见,浅加工的 Dm 效应以枕区和中央顶区为主,见图 2、3、4b 与 4d。

在 LPC2,其 Dm 主效应 $F(1, 16) = 8.354, p < 0.02$ 。虽然,加工 \times 记忆交互作用 $F(1, 16) = 3.125, p < 0.096$,但简单效应检验表明,深加工的 $F(1, 16) = 10.43, p < 0.005$,而浅加工 $F(1, 16) =$

$1.01, p > 0.05$ 。因此,LPC2 的 Dm 效应也仅存在于深加工条件下,而且分布于以额区为主的大部分区域(额区、中央区、顶区和枕区)。此外,深加工条件下记住与未记住 ERPs 曲线的分离趋势虽然延续到 800ms 以后,但 800ms 以后无显著性差异(图 2、3)。

3.4 深、浅加工的 ERPs

由图 5 可见,与 Dm 效应不同,两种加工的 ERPs 差异最早出现于枕区的 P1,而且,加工 \times 对称性的交互作用 $F(1, 16) = 5.354, p < 0.034$,简单效

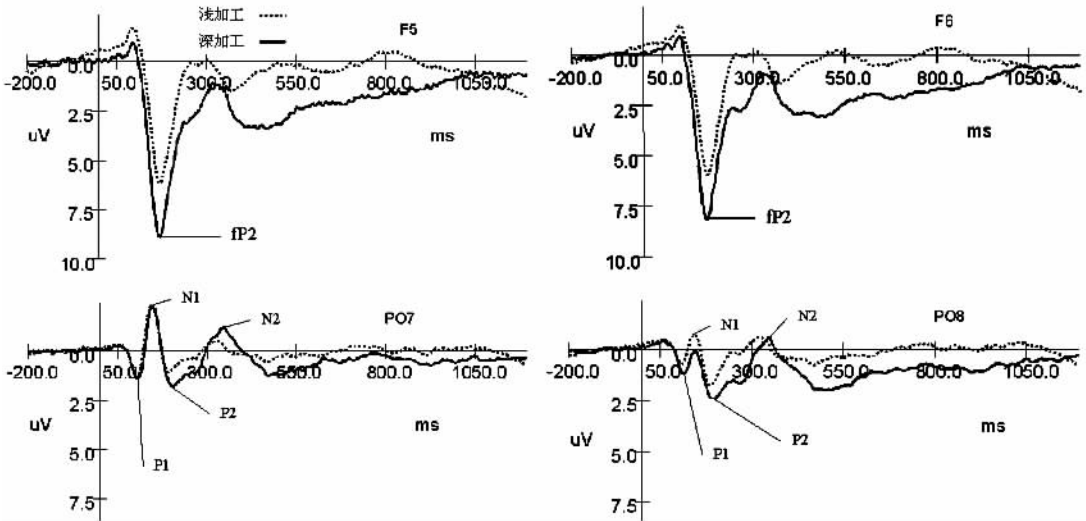


图5 深、浅加工的ERP比较

应检验表明,右枕区(PO8), $F(1, 16) = 10.69, p < 0.005$ 。因此,加工差异主要始于右枕区的P1,远远早于Dm效应,并表现为深加工比浅加工更正。在Dm效应出现以前,两种加工的枕区P2差异与P1十分相似,也主要表现在右枕区,且深加工比浅加工更正,即:加工的主效应和加工 \times 对称性的交互作用分别为 $F(1, 16) = 6.950, p < 0.018, F(1, 16) = 4.464, p = 0.051$,简单效应检验为,右枕区P2的加工差异 $F(1, 16) = 9.93, p < 0.006$ 。

在Dm效应以前,深、浅两种加工的突出差异是,深加工fp2明显大于浅加工(主效应 $F(1, 16) = 59.53, p < 0.0001$)。

此外,深加工的N2潜伏期,显著晚于浅加工(深加工:332ms,浅加工:307ms),加工主效应为 $F(1, 16) = 11.12, p < 0.004$ 。

由图5还可见,两种加工的fbN2, LPC1和LPC2差异与Dm效应相似,即深加工比浅加工更正,其主效应分别为 $F(1, 16) = 36.33, p < 0.0001, F(1, 16) = 18.24, p < 0.001, F(1, 16) = 49.14, p < 0.0001$ 。但与Dm不同的是,两种加工的分离明显大于Dm效应的分离,而且,一直持续到1000ms之后,远远晚于Dm效应的分离时间。

4 讨论

Dm效应是在与提取(正确和错误)有关的记忆编码过程中获取的ERPs差异,即记住和未记住的ERPs的差异,因此,它被看作记忆编码过程的反映。本实验既观察到了两种加工条件之间存在着的ERPs差异,也观察并比较了两种加工所对应的两种

Dm效应。同时,还进一步探讨了加工差异与Dm之间的关系。

使用文字材料的Dm效应研究,多使用英文,也有少数研究使用其它文字,如Fernandez等人^[12]的研究使用德文,但也都是拼音文字。而本研究是使用非拼音的汉字进行的,结果并未发现任何文字依赖的Dm效应。同时,与大多数研究^[2~12]一样,在深、浅加工两种条件下,均获得了Dm效应。而且,很多作者都将Dm效应分为两个时段,譬如,Friedman等人^[12]的划分是300~500ms和500~700ms,与本文的LPC1与LPC2十分接近。

除此之外,本文获得的Dm效应,也与以往研究有很多不同。本文Dm的起始都与N2波有关。这使本文得以将Dm效应分为三个时段,即除了LPC1与LPC2以外,还有一个fbN2。Dm效应在fbN2与LPC1之间是不连续的,而分别处在N2峰的两侧,即fbN2的Dm效应出现在N2的前支,而LPC1的Dm效应始于N2后支或更晚。因此,本文获得的Dm效应早于其它大多数研究,或者说,除了LPC1与LPC2两个阶段以外,还可能存在一个更早的Dm效应阶段。本文关于Dm效应与N2的这种关系,可能有助于对相继记忆效应的理解;而关于Dm效应与N2关系的发现,则可能与本文采用与大多数Dm效应研究不同的靶—非靶实验模式有关。本文的编码ERPs是在没有按键的情况下获得的,因此,不会混淆按键选择或反应的干扰。

在本研究中,深、浅2种加工条件下的Dm效应存在着明显的时间与空间上的差异。浅加工Dm效应仅出现在3个时段的中段,即出现于LPC1,明显

晚于深加工 Dm 效应,也比深加工的 LPC1 弱得多。而且,在高空间分辨率(128 导 ERPs)记录条件下,两种加工 Dm 效应在头颅表面的分布也有明显的差异。深加工在 LPC1 段的 Dm 效应以额区与额中央区为主,由于 Dm 效应强度较大,并随着时间的延续而向更广泛的区域扩散;而在浅加工条件下,LPC1 仅在枕区和中央顶区表现出显著的 Dm 效应,而且由于 Dm 效应较弱,比较局限于中线区。已往较少研究两种加工 Dm 效应的空间分布,记录也多集中在中线电极上。如 Munte 等人^[14]的 Dm 效应也有一个较广的分布,而且在中线的 Cz 和 Pz 位置最大。近年发展的功能磁共振技术(fMRI),可以提供更准确的记忆编码过程的空间分布。如 Wagner 等人^[13]发现,左前额区和左海马旁回区域的传递过程,影响言语经验的相继记忆力。本研究获得的 Dm 的头颅分布,与 fMRI 研究结果有一定程度的吻合。这些结果提示,Dm 效应反映了加工的变化,深、浅加工在程度和类型上的差异,使编码项目的记忆痕迹呈现强弱特点,从而影响学习项目的记忆。这些差异倾向于支持多重记忆系统的存在。

本研究在两种加工行为反应差异的基础上(即深加工平均反应时比浅加工长 93ms,深加工再认率比浅加工高约 13%),比较了两种加工 ERPs 的差异,深、浅两种加工的差异明显出现在早期的 P1、fP2、P2 上,并伴有一定程度的半球不对称性。这些 P2 以前的 ERPs 变化都发生在 Dm 效应出现以前,显然都仅仅涉及加工活动,而不直接涉及记忆活动。加工差异与 Dm 都在 fbN2、LPC1 和 LPC2 三个时段上有明显的表现,这是它们之间的相似性;但它们在程度上,加工差异远远大于或强于 Dm 效应。此外,深加工 Dm 效应的 ERPs 曲线分离,基本保持在 800ms 以前(LPC2 时段末),800ms 以后已无显著差异;至于浅加工,则时程更短。但两种加工的 ERPs 曲线分离,却一直保持到一秒以后。因此,加工活动不仅早于记忆活动,而且,甚至可能持续到记忆活动结束后。加工差异 ERPs 与 Dm 效应的比较,提示了记忆活动虽然需要在加工活动基础上进行,但它不是加工处理的简单结果,而可能是一种具有记忆特异性的脑活动。

致谢:该项研究完成于北京市重点实验室——首都师范大学学习与认知实验室,并获得资助。

参 考 文 献

- 1 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
- 2 Paller K A, Kutas M, Mayes A R. Neural correlates of encoding in an incidental learning paradigm. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 1987, 67:360 ~ 371
- 3 Paller K A, McCarthy G, Wood C C. ERPs predictive of subsequent recall and recognition performance. *Biological Psychology*, 1988, 26:269 ~ 276
- 4 Paller K A, Kutas M. Brain potentials during memory retrieval provide neurophysiological support for the distinction between conscious recollection and priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1992, 4:375 ~ 391
- 5 Friedman D, Ritter W, Snogross J G. ERPs during study as a function of subsequent direct and indirect memory testing in young and old adults. *Cog. Brain Res.* 1996, 4:1 ~ 13
- 6 Friedman D, Trott C. An event - related potential study of encoding in young and older adults. *Neuropsychologia*, 2000, 38:542 ~ 557
- 7 Petten C V, Senkfor 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
- 8 Smith M E, Guster K. Decomposition of recognition memory event - related potentials yields target, repetition, and retrieval effects. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 1993, 83:335 ~ 343
- 9 Besson M, Kutas M. The many facets of repetition: a cued - recall and event - related potential analysis of repeating words in same versus different sentence contexts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1993, 19(5):1115 ~ 1133
- 10 Elger C W, Grunwald T, et al. Human temporal lobe potentials in verbal learning and memory processes. *Neuropsychological*, 1997, 35(5):657 ~ 667
- 11 Sanquist T, Rohrbaugh J W, Syndulko K, Lindsay D B. Electro-cortical signs of levels of processing: perceptual analysis and recognition memory. *Psychophysiology*, 1980, 17(6):568 ~ 577
- 12 Fernandez G, Weyerts H, et al. Event - related potentials of verbal encoding into episodic memory: dissociation between the effects of subsequent memory performance and distinctiveness. *Psychophysiology*, 1998, 35:709 ~ 720
- 13 Wagner A D, Koutstaal W, Schacter D L. When encoding yields remembering: insights from event - related neuroimaging. *Phi. Trans. R. Soc. Lond. B*, 1999, 354:1307 ~ 1324
- 14 Munte T F, Heinze H J, et al. Effects of a cholinergic nootropic (WEB 1881 FU) on event - related potentials recorded in incidental and intentional memory tasks. *Neuropsychobiology* 1988, 19:158 ~ 168

AN EVENT – RELATED POTENTIAL STUDY OF MEMORY ENCODING

Guo Chunyan¹, Zhu Ying², Ding Jinhong¹, Fan Silu³

(¹*Department of Psychology, Capital Normal University, Beijing, China 100037*)

(²*Department of Psychology, Peking University, Beijing, China 100871*)

(³*Beijing Cognitive Science of Lab, Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, China 100039*)

Abstract

Event – related potentials (ERPs) were recorded to investigate the relationship between deep/shallow processing and memory encoding. Three major results were: (1) Under both processings of Chinese materials, the subsequent memory effects (Dm) were obtained. A late positive ERP elicited by words later recognized was larger than that elicited by words later forgotten. (2) The Dm effect was different between the two processings. The Dm effect for deep processing began at the front branch of N2 wave (230 – 280 ms), and more obvious held behind N2 from 395ms to 800ms. The Dm effect for shallow processing was obtained only from 345ms to 490ms. In addition, the Dm for deep processing was observed over frontal and fronto – central areas of scalps but over parietal and occipital areas for the shallow processing. Such results support the possibility that deep and shallow processing Dm effect may diverge. (3) The Dm effect was different from ERP differences between two processings. Such results support the speciality of Dm effect in memory encoding.

Key words event – related potentials; subsequent memory effects; memory encoding