

# 跨领域项目间联结记忆中项目提取和关系提取的分离：一项事件相关电位研究\*

梁九清 郭春彦

(首都师范大学心理系, 北京市“学习与认知”重点实验室, 北京 100048)

**摘要** 使用 ERPs 技术, 探讨跨领域项目间联结记忆中项目提取和关系提取的差异。学习阶段, 系列呈现面孔-事件动词材料, 让被试识记面孔、事件动词以及两者之间的关系; 测验阶段, 要求被试对成对刺激进行“相同”、“重组”或“新”判断。结果发现: 提取阶段, 刺激呈现后约 200 ms, “相同”、“重组”和“新”3 种条件下的 ERPs 开始出现分离, 存在“相同/新”、“重组/新”和“相同/重组”三类新旧效应。在 200~300 ms, “相同/新”和“重组/新”两类新旧效应表现在前额和额区皮层; 在 300~500 ms, 这两类新旧效应广泛地分布在从前到后各个脑区皮层; 在 500~700 ms, “相同/新”新旧效应出现在额-顶区皮层, 而无“重组/新”新旧效应; 在 700~1400 ms, 这两类新旧效应发生在前额和额区皮层; 在上述 4 个时段, “相同/重组”关系新旧效应都发生在额中-中央-顶区皮层。从这些结果可以推知: 跨领域项目间联结再认中, 项目新旧效应和关系新旧效应同时出现, 但是关系提取比项目提取较晚完成; 额中-中央-顶区皮层关系新旧效应反映了对项目间关系的回忆加工; 而 700 ms 以后, 前额、额区皮层新旧效应可能反映了项目之间关系提取过程的执行加工功能。

**关键词** 联结记忆; 项目提取; 关系提取; 项目新旧效应; 关系新旧效应

**分类号** B842

## 1 前言

情景记忆(Episodic memory)是指个体对过去发生事件和经验的记忆, 包括对特定背景信息的编码和提取(Tulving, 1983)。双加工理论区分了熟悉性(Familiarity)和回忆(Recollection)两种再认过程, 认为熟悉性是人们对学习项目的知道感(Feeling of knowing), 是一种基于强度连续变化的自动化加工; 而回忆是对学习情景细节的提取, 是一种阈限加工, 依赖于注意资源。对于联结记忆(比如, 记住词对、面孔-名字等), 我们不仅要记住单个项目(比如, 词、面孔、名字等), 还要记住项目之间的关系(比如, 词与词之间的关系、面孔与名字之间的关系等)。最初的观点认为, 项目记忆(Item memory)受熟悉性和回忆共同影响, 而关系记忆(Relational memory)只受回忆影响。然而, Yonelinas (2002)提

出整合假设(Unitization hypothesis), 认为当两个项目可以整合成一个单元(Unit)时, 关系记忆也会受熟悉性影响。Mayes, Montaldi 和 Migo (2007)区分了 3 种联结再认: 项目内联结再认(Intra-item associative recognition)、领域内项目间联结再认(Within-domain inter-item associative recognition)和跨领域项目间联结再认(Between-domain inter-item associative recognition)。他们认为嗅周皮层(Perirhinal cortex)可能对于项目内联结再认和可以整合的领域内项目间联结再认有重要作用, 而跨领域项目间联结再认在海马(Hippocampus)完成。来自 fMRI 和 PET 研究也发现, 海马与回忆相关, 而旁海马区域(Parahippocampal cortices)尤其是嗅周皮层与熟悉性相关(Holdstock et al., 2002; Mayes, Holdstock, Isaac, Hunkin, & Roberts, 2002; Opitz, 2010; Yonelinas et al., 2002)。

收稿日期: 2011-09-26

\* 国家自然科学基金(30870760)、北京市教委重点基金(KZ201010028029)、高等学校博士学科点专项基金(20101108110004)资助。

通讯作者: 郭春彦, E-mail: guocyc@mail.cnu.edu.cn

以往使用事件相关电位(Event-related potentials, ERPs)技术进行记忆再认研究发现,正确再认旧项目的 ERPs 要比正确拒绝新项目的 ERPs 有更正的趋势,这被称为新旧效应(Old/new effect)。关于双加工理论,大量 ERPs 研究发现,刺激呈现后大约 300~500 ms,在额区皮层出现的新旧效应(FN400 old/new effect)与熟悉性相关;400~800 ms,在顶区皮层出现的新旧效应(Parietal old/new effect)与回忆相关(Curran, 2000; Curran & Cleary, 2003; Curran & Hancock, 2007; Donaldson & Rugg, 1998; Mecklinger, 2000; Tsivilis, Otten, & Rugg, 2001; Wilding & Rugg, 1996)。另外,Wilding 和 Rugg (1996)发现晚期右侧额叶新旧效应也与回忆相关。尽管如此,关于熟悉性和回忆的 ERPs 研究尚存在争议。有些学者认为 FN400 可能反映的是概念启动而非熟悉性,而与熟悉性和回忆相关的 ERPs 头皮分布并无显著差异,都分布在更靠后的脑区皮层(Paller, Voss, & Boehm, 2007; Voss, Schendan, & Paller, 2010; Yovel & Paller, 2004)。也有些研究发现,与回忆相关的脑区分布在更靠前的额-中央区,而非顶区(Duarte, Ranganath, Winward, Hayward, & Knight, 2004; MacKenzie & Donaldson, 2007; Speer & Curran, 2007)。

关于情景记忆提取, Semon 用兴奋痕迹复现(Ecphory)来描述线索和过去经历的相互作用(Schacter, Eich, & Tulving, 1978)。神经心理唤醒模型(Neuropsychologically inspired models)认为除了兴奋痕迹复现加工,按照当前任务、行为目标,对所提取信息进行监测、评估等提取后操作也是必要的(Moscovitch, 1992)。Allan, Wolf, Rosenthal 和 Rugg (2001)认为顶区新旧效应与兴奋痕迹复现加工有关,而右额叶新旧效应与提取后加工有关。以往来源记忆研究中,发现有两种典型的新旧效应:一种是早期新旧效应,在刺激呈现后大约 200 ms 出现,有广泛的头皮分布;另外一种为晚期新旧效应,在刺激出现后大约 700 ms 出现,分布在前额皮层。一些研究发现,后部皮层新旧效应对来源提取正确与否敏感,而前额皮层新旧效应对此不敏感。基于这些结果,研究者认为晚期前额皮层新旧效应反映了来源记忆提取中的扩展性记忆搜索(Extended memory search),而后部皮层新旧效应反映了关系信息的成功提取,两者分别对应的是尝试-成功(Attempt versus success)提取加工(Kuo & Van Petten, 2006, 2008; Senkfor & Van Petten, 1998; Van Petten, Luka, Rubin, & Ryan, 2002; Van Petten,

Senkfor, & Newberg, 2000)。Guo, Duan, Li 和 Paller (2006)也发现,额区和中央区皮层对来源提取正确与否敏感,而前额皮层对此不敏感。然而,另外一些研究者发现,前额皮层对来源判断正确性敏感(Donaldson & Rugg, 1998; Trott, Friedman, Ritter, & Fabiani, 1997; Wilding, 1999),体现了关系信息的成功提取。可见,前额皮层在关系提取中的作用还有待于进一步研究。

在以往研究中,研究者较多地运用来源提取、通道提取、位置记忆等方式来探讨关系提取的心理、生理机制。实验中,被试将多个项目与一个来源进行捆绑,因而涉及的是“多对一”的关系提取问题。相比较而言,成对联结记忆中,学习项目之间的关系是“一对一”方式(Old & Naveh-Benjamin, 2008; Van Petten et al., 2002)。Van Petten 等人(2002)认为联结记忆与来源记忆在关系提取上有不同的难度,并认为跨领域项目间关系提取存在次级搜索加工,而很少有实验证明领域内项目间关系提取存在策略搜索和次级搜索。其它许多学者也认为,不同形式关系记忆提取可能有不同的神经机制。鉴于此,本研究使用 ERPs 技术,以面孔-事件动词为材料来探讨跨领域项目间联结记忆中的关系提取,考察不同类型的关系记忆是否有相似的神经机制。

本研究学习阶段,让被试学习一系列面孔-事件动词材料。在测验阶段,有些成对刺激在学习时是一对编码(Intact);有些成对刺激,两个项目虽然都学习过,却不是同一对编码(Rearranged);另外一些成对刺激由两个新项目组成(New)。要求被试对屏幕上出现的成对刺激进行“相同”、“重组”或“新”判断。“相同”条件下,面孔和事件动词为“旧”,两者之间的关系亦为“旧”;相比较而言,“重组”条件下,面孔和事件动词为“旧”,而两者之间的关系为“新”。以往 ERPs 研究认为,“相同”与“重组”两种条件下的 ERPs 差异体现了关系提取,反映了回忆加工。尽管,近期研究发现关系提取除了回忆加工之外也可能有熟悉性的作用(Diana, Van den Boom, Yonelinas, & Ranganath, 2011; Rhodes & Donaldson, 2008),然而按照 Mayes 等人(2007)的观点,跨领域联结记忆的关系提取应该只受回忆加工的影响。此外,在“重组”条件下,需要被试对项目及关系信息进行尝试提取,并进行拒绝判断,因而是一种回忆-拒绝加工(Recall-to-reject process),这需要克服更多的项目熟悉性(Rotello & Heit, 2000)。

在以往大多数研究中,成对刺激材料无论是在

编码阶段还是在提取阶段,都使用同时呈现的方式,因而关系提取可能会受到知觉重复的影响。为了排除此干扰,本实验编码阶段,面孔和事件动词系列呈现,而测验阶段使用同时呈现的方式。结合已有理论及实验证据,本研究假设:在联结记忆测验阶段,项目和关系提取同时开始,但是关系提取要比项目提取较晚完成;在晚期关系提取中,前额皮层对于关系改变不敏感,而后部皮层对于关系改变敏感;另外,跨领域项目间关系提取只依赖于回忆加工。按照这些假设,“相同”、“重组”和“新”三种条件下的 ERPs 将同时开始出现分离;在晚期,“相同/新”、“重组/新”两类新旧效应出现在前额皮层,而“相同/重组”关系新旧效应会出现在更靠后的脑区皮层。另外,在所有时段,“相同/重组”关系新旧效应的头皮分布将不存在显著差异。

## 2 方法

### 2.1 被试

16名大学本科生(7男9女)。被试身体健康,右利手,视力或矫正视力正常,年龄19~24岁(平均20.81岁),实验后获得适当报酬。

### 2.2 实验材料

198张面孔和198个事件动词。其中,面孔为中性材料,男、女各99张;事件动词为两字动词,经评定可以很好地表达事件。面孔和事件动词随机配对,组成198对面孔-事件动词材料,然后随机分成22个实验组。其中,2组练习,20组用于正式实验。实验中,面孔视角为 $4.47^{\circ} \times 5.16^{\circ}$ ,事件动词视角为 $2.58^{\circ} \times 1.15^{\circ}$ 。

### 2.3 实验程序

采用学习-测验范式,分20组进行联结记忆再认任务。每组均包含学习阶段、干扰阶段和测验阶段。被试坐在隔音电磁屏蔽房间沙发上,距离屏幕1m。实验中要求被试注视屏幕中央,放松并尽量控制眨眼。

正式实验前,被试先进行2组练习。每组学习阶段,6对面孔-事件动词材料随机依次呈现。面孔和事件动词均系列出现在屏幕中央,两者呈现时间均为1s,其间隔为500ms的空屏。为了提高被试的记忆成绩,每对材料连续重复呈现3次。要求被试记住面孔、事件动词以及它们之间的关系。每对刺激间隔(ISI)为2s~3s。干扰阶段,被试进行20s倒减3运算。测验阶段,9对面孔-事件动词材料随机依次呈现。面孔和事件动词同时出现在屏幕中央,

总视角为 $4.47^{\circ} \times 6.75^{\circ}$ ,呈现时间为2s,要求被试进行“相同”、“重组”或“新”判断。如果面孔和事件动词在学习阶段都出现过且是一对,按“相同”键;如果两者在学习阶段都出现过但不是一对,按“重组”键;如果两者是新的,则按“新”键。使用“F”、“J”和“空格键”3键作为反应键。每对刺激间隔(ISI)为1.2s~1.4s。每组测验阶段,“相同”、“重组”和“新”3种条件各有3对刺激。学习阶段和测验阶段中,屏幕均使用灰色背景,字体为黑色。每组内面孔性别恒定,事件动词无单字重复,且无意义相近或相似。呈现顺序和反应键在被试间进行平衡。实验流程如图1所示。

### 2.4 ERPs 记录及数据处理

采用Neuroscan公司生产的ESI-64导脑电记录系统,电极位置在国际10-20系统基础上构成,用Ag/AgCL电极帽记录62个头皮位置相应的EEG。左眼上下2个电极记录垂直眼点(VEOG),两眼外侧2个电极记录水平眼点(HEOG)。参考电极置于左耳乳突处,接地点在FPz和Fz连线中点,右耳乳突也放置一个电极。每个电极与头皮之间的电阻均小于5k $\Omega$ 。连续记录时滤波带通为0.05~100Hz,采样率为500Hz。对测验阶段记录的EEG进行离线分析,以左右乳突的代表平均为参考电压进行校正。截取每对刺激呈现前200ms到呈现后1500ms的脑电,用-200~0ms的平均波幅对基线进行校正。去除眼电伪迹,并剔除波幅超过 $\pm 75\mu\text{V}$ 的试次,滤波带通为0.05~40Hz。

对ERPs数据进行分类叠加得到“相同”、“重组”和“新”3种条件判断正确的ERPs。参照前人研究和观察结果,确定分析时段为200~300ms、300~500ms、500~700ms和700~1400ms(Rugg et al., 1998; Schaefer, Pottage, & Rickart, 2011; Soei, Bellebaum, & Daum, 2009; Van Petten et al., 2000)。分析时,中线选取7个电极(FPz/Fz/FCz/Cz/CPz/Pz/Oz),左右14个电极(FP1/FP2,F3/F4,FC3/FC4,C3/C4,CP3/CP4,P3/P4,O1/O2)以各时段的平均电压值为因变量,进行3(条件:相同/重组/新) $\times$ 3(半球:左/中/右) $\times$ 7(脑区:前额区/额区/额中央区/中央区/中央顶区/顶区/枕区)三因素重复测量方差分析,进一步分析只对条件主效应和包含条件的交互作用进行,并在各个脑区对条件间的ERPs进行计划性比较(Keppel, 1991)。新旧效应头皮分布比较时,使用平方根标准化程序对62个电极差异波数据进行处理,然后进行重复测量方差分析,如果交互作用显著,说明头

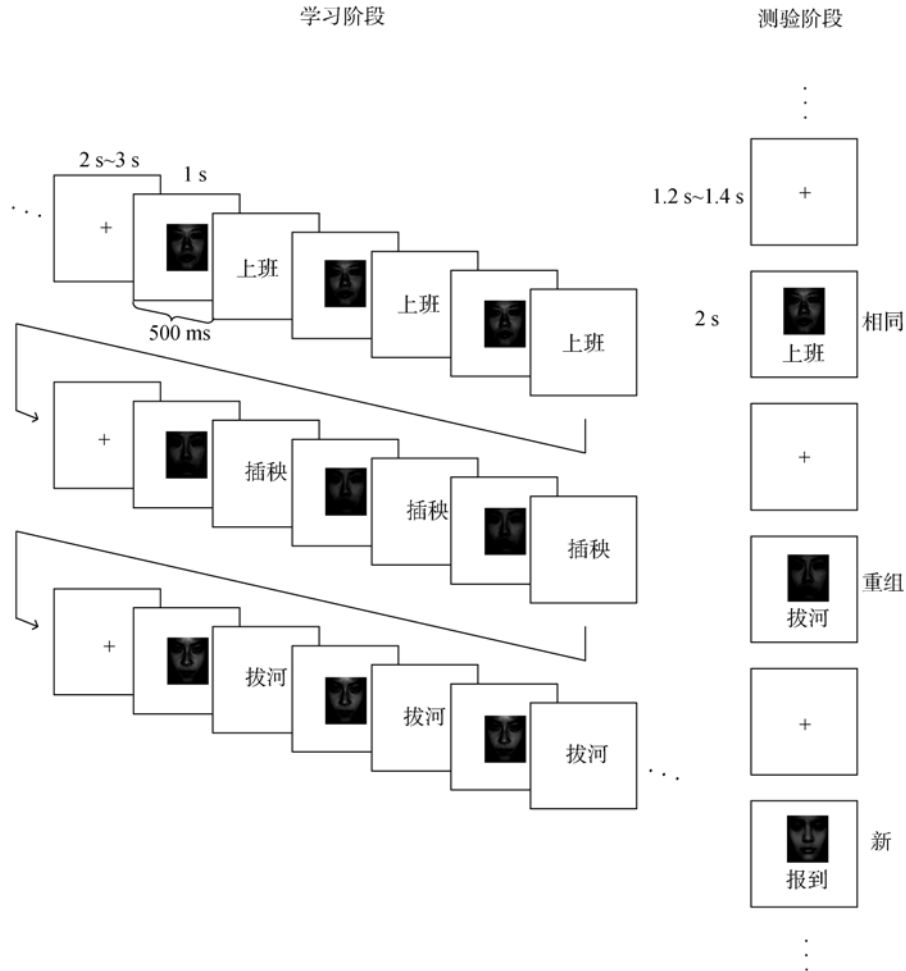


图1 实验流程示意图

皮分布不同(McCarthy & Wood, 1985)。方差分析中  $p$  值使用 Greenhouse-Geisser 校正。

### 3 结果

#### 3.1 行为结果分析

对测验阶段“相同”、“重组”和“新”3种条件下的正确率进行单因素重复测量方差分析,发现条件主效应显著,  $F(2,30)=54.73, p<0.001$ 。“相同”和“重组”条件的正确率都显著低于“新” ( $p<0.05$ ),“相同”与“重组”条件之间的正确率无显著差异 ( $p>0.05$ )。对3种条件下正确判断的反应时进行单因素重复测量方差分析,发现条件主效应显著,  $F(2,30)=110.06, p<0.001$ 。“相同”和“重组”条件的反应时都显著长于“新” ( $p<0.05$ ),“重组”条件的反应时显著长于“相同” ( $p<0.05$ ) (见表1)。

#### 3.2 ERPs 结果分析

总体来看,刺激呈现后大约 200 ms,“相同”、“重组”和“新”3种条件的 ERPs 开始出现分离。在

200~300 ms 的前部脑区皮层,“相同”、“重组”条件的 ERPs 比“新”有更正的趋势;在 200~300 ms 的中央区皮层前后,“相同”条件的 ERPs 比“重组”有更正的趋势。在 300~700 ms,从前到后各个脑区皮层,“相同”比“重组”、“重组”比“新”的 ERPs 依次更正;在 700~1400 ms,“相同”与“新”的 ERPs、“重组”与“新”的 ERPs 只在前部脑区皮层出现分离,而“相同”与“重组”之间的 ERPs 分离主要分布在额中央-中央-顶区皮层(见图2和图3)。

表1 测验阶段3种条件下的正确率和反应时(标准误)

条件	正确率(%)	反应时(ms)
相同	76(2.5)	1405(41.5)
重组	75(2.5)	1577(55.5)
新	98(0.5)	1035(28.9)

**3.2.1 “相同/新”新旧效应分析** 对4个时段分别进行2(条件:相同/新) $\times$ 3(半球:左/中/右) $\times$ 7(脑区:前额区/额区/额中央区/中央区/中央顶区/顶区/枕区)

重复测量方差分析。在 200~300 ms, 条件主效应显著( $F(1,15)=5.30, p<0.05$ ), 条件和半球交互作用显著( $F(2,30)=5.11, p<0.05$ ), 条件和脑区交互作用边缘显著( $F(6,90)=2.13, p=0.051$ )。进一步分析发现, 在中线和右半球, “相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ )。在前额区、额区、额中央区、中央区皮层, “相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ )。在 300~500 ms, 条件主效应显著( $F(1,15)=30.04, p<0.001$ ), 条件和脑区交互作用显著( $F(6,90)=4.43, p<0.05$ ), 条件和半球交互作用显著( $F(2,30)=1.24, p<0.001$ )。进一步分析发现, 在所有脑区皮层, “相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ ), 在中央区皮层差异最大( $3.39 \mu\text{V}$ ); 左半球、中线、右半球“相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ ), 在中线差异最大( $3.20 \mu\text{V}$ )。在 500~700 ms, 条件主效应显著( $F(1,15)=5.51, p<0.05$ ), 进一步计划性分析发现额区、额中央区、中央区、中央顶区及顶区中线电极“相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ )。在 700~1400 ms, 条件主效应显著( $F(1,15)=7.76, p<0.05$ ), 条件和脑区交互作用显著( $F(6,90)=6.43, p<0.01$ )。进一步分析发现在前额区、额区、额中央区、中央区皮层, “相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ ), 在前额区皮层差异最大( $3.19 \mu\text{V}$ )。

**3.2.2 “重组/新”新旧效应分析** 对 4 个时段分别进行 2(条件) $\times$ 3(半球) $\times$ 7(脑区)重复测量方差分析。在 200~300 ms, 条件 $\times$ 脑区交互作用边缘显著,  $F(6,90)=3.16, p=0.06$ 。进一步分析发现, 在前额区和额区皮层, “重组”条件的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ )。在 300~500 ms, 条件主效应显著( $F(1,15)=11.80, p<0.01$ ), 条件和半球交互作用显著( $F(2,30)=5.58, p<0.05$ )。进一步分析发现, 在所有脑区上, “重组”条件的 ERPs 都显著比“新”更正( $ps<0.05$ ), 在额中央区皮层差异最大( $2.09 \mu\text{V}$ ); 左半球、中线和右半球, “重组”条件的 ERPs 都显著比“新”更正( $ps<0.05$ ), 在中线差异最大( $1.98 \mu\text{V}$ )。在 500~700 ms, 条件主效应和包含条件的交互作用均不显著( $ps>0.05$ )。在 700~1400 ms, 条件和脑区交互作用显著,  $F(6,90)=8.99, p<0.001$ 。进一步分析发现, 在前额区和额区皮层, “重组”的 ERPs 显著比“新”更正( $ps<0.05$ )。

**3.2.3 “相同/重组”新旧效应分析** 对 4 个时段分别进行 2(条件) $\times$ 3(半球) $\times$ 7(脑区)重复测量方差分析。在 200~300 ms, 条件主效应显著,  $F(1, 15)=7.10, p<0.05$ , “相同”条件的 ERPs 显著比“重组”更正, 中央区皮层差异最大( $0.80 \mu\text{V}$ )。在 300~500 ms, 条件

主效应显著,  $F(1, 15)=7.76, p<0.05$ 。进一步计划性分析, 发现在额中央区、中央区、中央顶区、顶区皮层, “相同”条件的 ERPs 显著比“重组”更正( $ps<0.05$ )。在 500~700 ms, 依据以往研究, 对各脑区条件间的差异进行计划性比较, 发现中央区、中央顶区中线电极, “相同”条件的 ERPs 显著比“重组”更正( $ps<0.05$ )。在 700~1400 ms, 条件 $\times$ 半球交互作用显著,  $F(2,30)=3.82, p<0.05$ 。对左、中、右进行脑

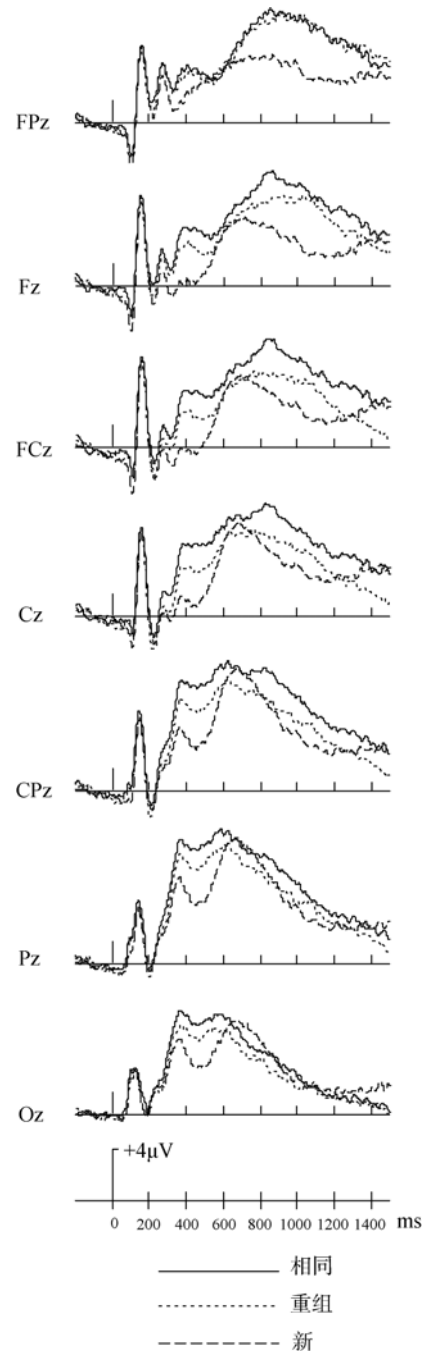


图 2 测验阶段各条件下中线电极波形图

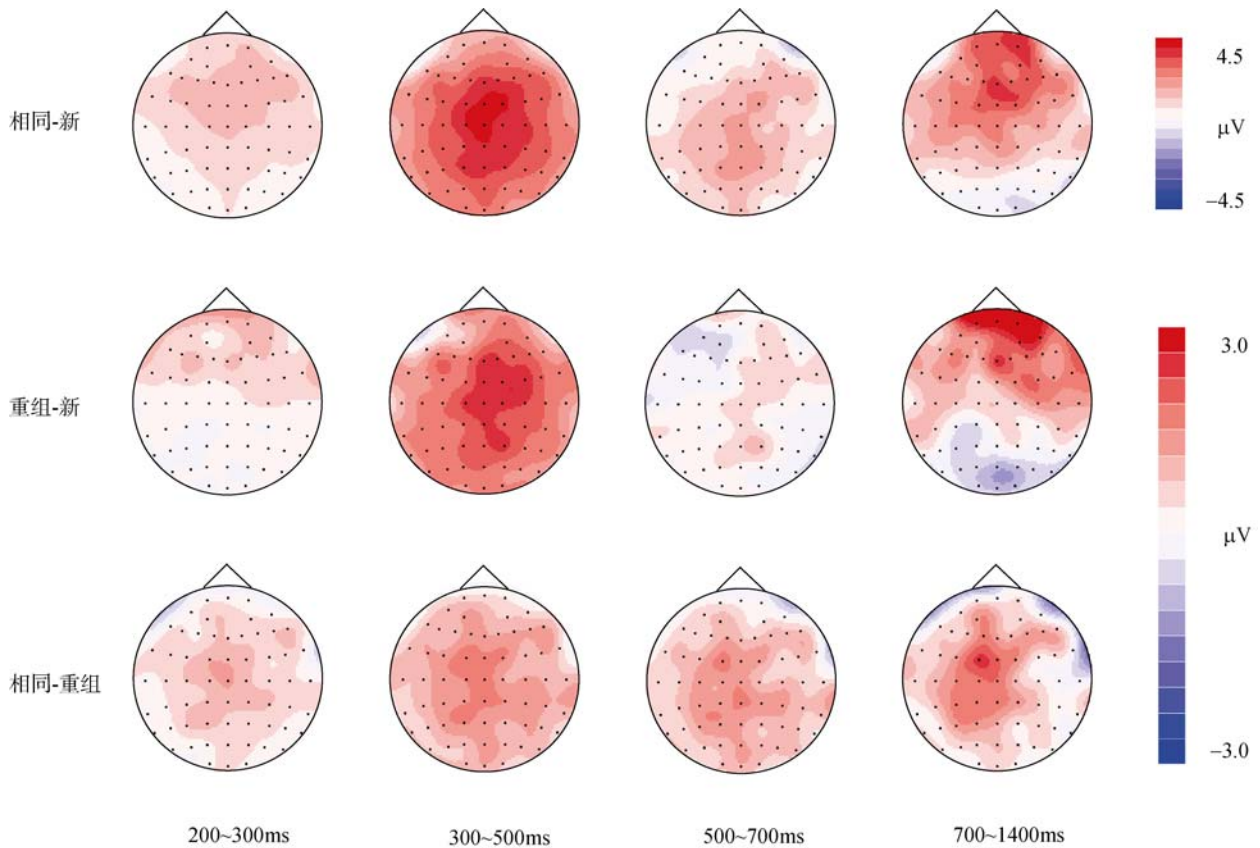


图3 测验阶段各条件间差异波地形图

区×条件方差分析,发现左、右半球,条件主效应、条件和脑区的交互作用均不显著( $p>0.05$ );在中线,条件和脑区交互作用边缘显著,  $F(6,90)=2.38$ ,  $p=0.07$ ,进一步分析发现FCz、Cz电极“相同”条件的ERPs显著比“重组”更正( $p<0.05$ )。

**3.2.4 三类新旧效应头皮分布的比较** 测验阶段“相同”、“重组”和“新”3种条件两两之间的ERPs差异波地形图如图3所示。对200~300 ms, 300~500 ms, 500~700 ms和700~1500 ms各个时段“相同/新”、“重组/新”、“相同/重组”3种ERPs差异波进行标准化(McCarthy & Wood, 1985),之后进行两因素重复测量方差分析。

对于“相同/新”新旧效应,在500~700 ms和700~1400 ms两个时段,时段和电极交互作用差异显著,  $F(61,915)=3.29$ ,  $p<0.05$ ,表明这两个时段“相同/新”新旧效应有不同的头皮分布,后者分布在更靠前的皮层。对于“重组/新”新旧效应,在200~300 ms和300~500 ms两个时段,时段和电极交互作用差异显著,  $F(61,915)=4.56$ ,  $p<0.01$ ,表明这两个时段新旧效应头皮分布具有明显的差异;在500~700 ms和700~1400 ms两个时段,时段和电极交互作用差异

边缘显著,  $F(61,915)=2.61$ ,  $p=0.053$ ,表明这两个时段“重组/新”新旧效应有不同的头皮分布,后者分布在更靠前的皮层。对300~500 ms“重组/新”和500~700 ms“相同/新”两类新旧效应的头皮分布进行比较,发现条件和电极交互作用无显著性差异( $p>0.05$ ),表明两者的头皮分布相同。另外,对于“相同/重组”新旧效应,发现4个时段两两之间,时段和电极交互作用均无显著性差异( $p>0.05$ ),表明所有时段上“相同/重组”新旧效应都表现在额中-中央-顶区皮层。

在700~1400 ms,对于“相同/新”和“重组/新”两类新旧效应,分析发现新旧效应类型和电极交互作用差异不显著,  $F(61,915)=1.40$ ,  $p>0.05$ ;对于“相同/新”和“相同/重组”两类新旧效应,分析发现新旧效应类型和电极交互作用差异显著,  $F(61,915)=3.40$ ,  $p<0.01$ ;对于“重组/新”和“相同/重组”两类新旧效应,分析发现新旧效应类型和电极交互作用差异显著,  $F(61,915)=2.43$ ,  $p<0.05$ 。这表明,在700~1400 ms,“相同/新”与“重组/新”两类新旧效应头皮分布无显著差异,都出现在前部皮层,而“相同/重组”新旧效应分布更靠后的额中-中央-顶区皮层。



## 4 讨论

本研究运用联结记忆再认范式, 探讨跨领域项目间联结记忆中项目提取和关系提取的差异。测验阶段, 被试对“新”条件下的正确判断依赖于项目信息提取, 而对“相同”和“重组”条件的正确判断需要在项目提取的基础上对关系进行提取。因此, “相同”和“重组”条件的正确判断要比“新”更难。从行为数据结果来看, “相同”和“重组”条件的正确率都显著低于“新”; 两者的反应时都显著长于“新”。这与先前的假设一致, 关系提取比项目提取要更晚完成。另外, “重组”条件的反应时显著长于“相同”, 这和以往的研究结果一致, 验证了“重组”条件下的正确判断是一种回忆-拒绝加工, 需要克服更多的项目熟悉性(Achim & Lepage, 2005; Lepage, Brodeur, & Bourgouin, 2003)。

从 ERPs 数据结果来看, 在刺激呈现后 200~300 ms, “相同/新”、“重组/新”两类新旧效应分布在前部皮层; 随后 300~500 ms, 这两类新旧效应有更靠后、更广泛地分布; 500~700 ms, 在额-顶区, “相同”条件的 ERPs 显著比“新”更正, 而“重组”与“新”之间的 ERPs 无显著差异。另外, 新旧效应头皮分布分析发现: 从 500~700 ms 到 700~1400 ms, “相同/新”和“重组/新”两类新旧效应头皮分布都由后向前转移; 并且, 在 700~1400 ms, 前额区、额区皮层只对项目新旧敏感而对关系新旧不敏感。结合以往来源记忆研究, 本实验中 200~700 ms 的“相同/新”、“重组/新”两类新旧效应反映了早期的项目提取, 而 700~1400 ms 的这两类新旧效应可能反映了前额皮层在晚期项目间关系提取时的执行功能作用(Kuo & Van Petten, 2006, 2008; Senkfor & Van Petten, 1998; Van Petten et al., 2000, 2002)。

本研究测验阶段, “相同”条件下, 项目和项目间的关系都为“旧”; “重组”条件下, 项目为“旧”, 而项目间的关系为“新”。因此, 在早期项目提取中, 前者受项目信息和关系信息的共同影响; 而后者只受项目信息影响。从 ERPs 结果来看, 在 200~300 ms 和 300~500 ms 两个时段, “重组/新”新旧效应的头皮分布差异显著; 而 300~500 ms 和 500~700 ms 之间该新旧效应的头皮分布相同。这说明在“重组”条件的早期项目提取中存在两种不同的加工: 200~300 ms 额区 P2 上的“重组/新”新旧效应可能反映了大脑最初对于项目的自动化提取加工, 或者反映了和提取意向有关的加工(Guo, Chen, Tian, Paller, & Voss, 2010); 随后 300~500 ms, “重组/新”P300 新旧效应可能反映了对项目信息的意识性提取。在

500~700 ms, “相同/新”P600/LPC 新旧效应出现在额-顶区皮层, 而“重组”与“新”之间的 ERPs 并不显著, 这和以往的研究一致, 反映了该时段关系回忆加工对“相同”条件早期项目提取的单独作用(Schaefer et al., 2011; Speer & Curran, 2007; Tsivilis et al., 2001; Wilding, 2000)。另外, 300~500 ms “重组/新”与 500~700 ms “相同/新”两类新旧效应的头皮分布相同, 这与 Yovel 和 Paller (2004) 的研究结果一致, 也和来源记忆的一些研究结果相似(Guo et al., 2006), 表明项目熟悉性和关系回忆在头皮分布上并没有本质的区别。

从关系提取的时间进程来看, 在刺激呈现后大约 200 ms, “相同/重组”关系新旧效应开始出现, 并且在所有时段均分布在额中央-中央-顶区皮层。这表明, 虽然刺激出现 200 ms 后, 关系变化已经开始引起了大脑反应, 但关系提取较晚完成。这也和 Mayes 等人 (2007) 的观点一致, 以面孔-事件动作为材料的跨领域项目间关系提取可能只由单一加工支持, 反映了回忆加工。在 700~1400 ms, “相同/新”和“重组/新”两类新旧效应的头皮分布没有显著差异, 均表现在前部皮层; “相同/重组”关系新旧效应分布在额中央-中央-顶区皮层。这和 Van Petten 等人 (2000) 的观点一致, 晚期前部皮层新旧效应可能反映了前额皮层的执行加工作用, 后部皮层的关系新旧效应反映了关系信息的成功提取。可见, 无论是来源记忆, 还是跨领域项目间联结记忆, 关系提取可能有相似的神经机制。

Conway 和 Pleydell-Pearce (2000) 提出的自我记忆系统(Self-memory system)将自传体知识分为 3 个层面: 生活时期(Lifetime periods)、一般事件(General events)和与事件相关的特定知识(Event-specific knowledge, ESK)。按照这种观点, 本研究中的面孔和事件属于第二、第三个层面。联结记忆信息提取时, 大脑将同时激活面孔、事件以及他们之间的关系表征, 项目和项目间的关系并行提取; 项目新旧判断更早完成, 而关系新旧判断更晚完成。事实上, 还有一些问题尚待解决。本实验使用联结记忆再认范式无法直接探测出面孔和事件单个项目对关系提取的影响。另外, 在晚期关系提取中, 前额皮层的具体作用需要进一步研究。

致谢: 实验中的面孔材料来自北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室编制的中国情绪面孔系统(CAFPS), 在此表示感谢!

## 参 考 文 献

- Achim, A. M., & Lepage, M. (2005). Dorsolateral prefrontal cortex involvement in memory post-retrieval monitoring revealed in both item and associative recognition tests. *NeuroImage*, 24(4), 1113–1121.
- Allan, K., Wolf, H. A., Rosenthal, C. R., & Rugg, M. D. (2001). The effect of retrieval cues on post-retrieval monitoring in episodic memory: An electrophysiological study. *Cognitive Brain Research*, 12(2), 289–299.
- Conway, M. A., & Pleydell-Pearce, C. W. (2000). The construction of autobiographical memories in the self-memory system. *Psychological Review*, 107(2), 261–288.
- Curran, T. (2000). Brain potentials of recollection and familiarity. *Memory & Cognition*, 28(6), 923–938.
- Curran, T., & Cleary, A. M. (2003). Using ERPs to dissociate recollection from familiarity in picture recognition. *Cognitive Brain Research*, 15(2), 191–205.
- Curran, T., & Hancock, J. (2007). The FN400 indexes familiarity-based recognition of faces. *NeuroImage*, 36(2), 464–471.
- Diana, R. A., Van den Boom, W., Yonelinas, A. P., & Ranganath, C. (2011). ERP correlates of source memory: Unitized source information increases familiarity-based retrieval. *Brain Research*, 1367, 278–286.
- Donaldson, D. I., & Rugg, M. D. (1998). Recognition memory for new associations: Electrophysiological evidence for the role of recollection. *Neuropsychologia*, 36(5), 377–395.
- Duarte, A., Ranganath, C., Winward, L., Hayward, D., & Knight, R. T. (2004). Dissociable neural correlates for familiarity and recollection during the encoding and retrieval of pictures. *Cognitive Brain Research*, 18(3), 255–272.
- Guo, C. Y., Chen, W. J., Tian, T., Paller, K. A., & Voss, J. L. (2010). Orientation to learning context modulates retrieval processing for unrecognized words. *Chinese Science Bulletin*, 55(26), 2966–2973.
- Guo, C. Y., Duan, L., Li, W., & Paller, K. A. (2006). Distinguishing source memory and item memory: Brain potentials at encoding and retrieval. *Brain Research*, 1118(1), 142–154.
- Holdstock, J. S., Mayes, A. R., Roberts, N., Cezayirli, E., Isaac, C. L., O'Reilly, R. C., et al. (2002). Under what conditions is recognition spared relative to recall after selective hippocampal damage in humans? *Hippocampus*, 12(3), 341–351.
- Keppel, G. (1991). *Design and analysis: A researcher's handbook*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Kuo, T. Y., & Van Petten, C. (2006). Prefrontal engagement during source memory retrieval depends on the prior encoding task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(7), 1133–1146.
- Kuo, T. Y., & Van Petten, C. (2008). Perceptual difficulty in source memory encoding and retrieval: Prefrontal versus parietal electrical brain activity. *Neuropsychologia*, 46(8), 2243–2257.
- Lepage, M., Brodeur, M., & Bourgooin, P. (2003). Prefrontal cortex contribution to associative recognition memory in humans: An event-related functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 346(1-2), 73–76.
- MacKenzie, G., & Donaldson, D. I. (2007). Dissociating recollection from familiarity: Electrophysiological evidence that familiarity for faces is associated with a posterior old/new effect. *NeuroImage*, 36(2), 454–463.
- Mayes, A. R., Holdstock, J. S., Isaac, C. L., Hunkin, N. M., & Roberts, N. (2002). Relative sparing of item recognition memory in a patient with adult-onset damage limited to the hippocampus. *Hippocampus*, 12(3), 325–340.
- Mayes, A., Montaldi, D., & Migo, E. (2007). Associative memory and the medial temporal lobes. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(3), 126–135.
- McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 62(3), 203–208.
- Mecklinger, A. (2000). Interfacing mind and brain: A neurocognitive model of recognition memory. *Psychophysiology*, 37(5), 565–582.
- Moscovitch, M. (1992). Memory and working-with-memory: A component process model based on modules and central systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 257–267.
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Differential effects of age on item and associative measures of memory: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 23(1), 104–118.
- Opitz, B. (2010). Neural binding mechanisms in learning and memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1036–1046.
- Paller, K. A., Voss, J. L., & Boehm, S. G. (2007). Validating neural correlates of familiarity. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(6), 243–250.
- Rhodes, S. M., & Donaldson, D. I. (2008). Electrophysiological evidence for the effect of interactive imagery on episodic memory: Encouraging familiarity for non-unitized stimuli during associative recognition. *NeuroImage*, 39(2), 873–884.
- Rotello, C. M., & Heit, E. (2000). Associative recognition: A case of recall-to-reject processing. *Memory & Cognition*, 28(6), 907–922.
- Rugg, M. D., Mark, R. E., Walla, P., Schloerscheidt, A. M., Birch, C. S., & Allan, K. (1998). Dissociation of the neural correlates of implicit and explicit memory. *Nature*, 392(6676), 595–598.
- Schacter, D. L., Eich, J. E., & Tulving, E. (1978). Richard Semon's theory of memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 17(6), 721–743.
- Schaefer, A., Pottage, C. L., & Rickart, A. J. (2011). Electrophysiological correlates of remembering emotional pictures. *NeuroImage*, 54(1), 714–724.
- Senkfor, A. J., & Van Petten, C. (1998). Who said what? An event-related potential investigation of source and item memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(4), 1005–1025.
- Soei, E., Bellebaum, C., & Daum, I. (2009). Relational and non-relational memory-electrophysiological correlates of novelty detection, repetition detection and subsequent memory. *European Journal of Neuroscience*, 29(2), 388–398.
- Speer, N. K., & Curran, T. (2007). ERP correlates of familiarity and recollection processes in visual associative recognition. *Brain Research*, 1174, 97–109.
- Trott, C. T., Friedman, D., Ritter, W., & Fabiani, M. (1997). Item and source memory: Differential age effects revealed by event-related potentials. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*, 8(15), 3373–3378.



- Tsivilis, D., Otten, L. J., & Rugg, M. D. (2001). Context effects on the neural correlates of recognition memory: An electrophysiological study. *Neuron*, 31(3), 497–505.
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York: Oxford University Press.
- Van Petten, C., Luka, B. J., Rubin, S. R., & Ryan, J. P. (2002). Frontal brain activity predicts individual performance in an associative memory exclusion test. *Cerebral Cortex*, 12(11), 1180–1192.
- Van Petten, C., Senkfor, A. J., & Newberg, W. M. (2000). Memory for drawings in locations: Spatial source memory and event-related potentials. *Psychophysiology*, 37(4), 551–564.
- Voss, J. L., Schendan, H. E., & Paller, K. A. (2010). Finding meaning in novel geometric shapes influences electrophysiological correlates of repetition and dissociates perceptual and conceptual priming. *NeuroImage*, 49(3), 2879–2889.
- Wilding, E. L. (1999). Separating retrieval strategies from retrieval success: An event-related potential study of source memory. *Neuropsychologia*, 37(4), 441–454.
- Wilding, E. L. (2000). In what way does the parietal ERP old/new effect index recollection? *International Journal of Psychophysiology*, 35(1), 81–87.
- Wilding, E. L., & Rugg, M. D. (1996). An event-related potential study of recognition memory with and without retrieval of source. *Brain: A Journal of Neurology*, 119(3), 889–905.
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, 46(3), 441–517.
- Yonelinas, A. P., Kroll, N. E. A., Quamme, J. R., Lazzara, M. M., Sauvé, M. J., Widaman, K. F., et al. (2002). Effects of extensive temporal lobe damage or mild hypoxia on recollection and familiarity. *Nature Neuroscience*, 5(11), 1236–1241.
- Yovel, G., & Paller, K. A. (2004). The neural basis of the butcher-on-the-bus phenomenon: When a face seems familiar but is not remembered. *NeuroImage*, 21(2), 789–800.

## Dissociating the Neural Correlates of Item Retrieval and Relational Retrieval in Between-domain Inter-item Associative Memory: An Event-Related Potentials Study

LIANG Jiu-Qing; GUO Chun-Yan

(Beijing Key Laboratory of “Learning & Cognition”, Department of Psychology, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

### Abstract

Binding is an important process in human episodic memory. On retrieval, dual process theory posits familiarity and recollection as two separated processes that contribute to recognition memory. It has been hypothesized that item retrieval bases on familiarity and recollection, whereas relational retrieval employs recollection. ERPs studies on recognition memory have identified two old/new effects that respectively correspond to familiarity and recollection. The mid-frontal old/new effect, occurring at approximately 300~500ms over frontal electrode sites, is attributed to familiarity. The parietal old/new effect, approximately 500~800ms maximal over parietal electrode sites, reflects recollection. According to Van Pettern et al. (2002), there was also an executive process which was reflected by an old/new effect over prefrontal scalp around 700ms after stimulus onset.

In the present study, we explore the differences between relational retrieval and item retrieval by using the ERPs techniques and following the associative recognition paradigm. 16 college students (7 males, 9 females) took part in our experiment. They studied a series of face-verb pairs presented in sequence. In the test, some face-verb pairs were presented that were encoded together at study (intact), some were presented in which both items were studied but not together (rearranged), and the rest consisted of two new, unstudied items (new). Participants were instructed to determine whether a pair was “intact”, “rearranged”, or “new”. The ERPs for the three categories of correctly-judged responses in the test phrase were averaged separately. Thus we made our hypothesis that the differences between the ERPs of the “intact” and the “rearranged” pairs simply reflected relational retrieval. Also, in the early stage of item retrieval, item familiarity and relational recollection contributed to successful retrieval of the “intact”, whereas old/new effect only reflected the item familiarity of the “rearranged”.

It was found that old/new effects indicating the “intact” and the “rearranged” were at anterior cortex around 200ms after the stimulus, more obvious at all cortex from 300ms to 500ms, but prominent at prefrontal and frontal cortex from 700ms to 1400ms. However, relational old/new effect distributed over frontocentral-central-parietal areas in each time windows.

It could be inferred that item old/new effect and relational old/new effect occurred at the same time, the relational retrieval employing recollection occurred much later than item retrieval, and the late anterior item old/new effect could be related to executive processes of prefrontal cortex.

**Key words** associative memory; item retrieval; relational retrieval; item old/new effect; relational old/new effect