



论文

成功的前瞻记忆编码与提取的神经机制研究

陈燕妮^①, 郭春彦^{①③*}, 姜扬^②^① 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;^② 美国肯塔基大学医学院行为科学系, 莱克星顿 40536-0086;^③ 中国科学院心理研究所, 心理健康实验室, 北京 100101

* 联系人, E-mail: guocy@hotmail.com

收稿日期: 2010-12-05; 接受日期: 2011-04-07

国家自然科学基金(批准号:30870760)、北京市教委重点基金(批准号:KZ201010028029)和高等学校博士学科点专项基金(批准号:20101108110004)资助项目

摘要 前瞻记忆是指对将来行为和事件的记忆, 而相继记忆效应(Dm 效应)是指根据记忆提取阶段的成绩, 分析与之对应的编码阶段记住的项目和忘记的项目之间的神经活动的差异. 本研究采用任务转化范式, 借助 ERP 仪器, 使用汉字材料, 探讨了前瞻记忆的 Dm 效应. 研究发现, 100~200 ms(P150), 250~280 ms(fbN2), 400~700 ms(LPC)随后前瞻记忆击中的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记的 ERPs 更正. 其中, 早期的相继记忆效应(P150 更正)可能反映了前瞻记忆将来意向的加工或者准备注意的加工; 而后两个时段与以往的研究结果一致, fbN2 可能与汉语材料的加工有关, LPC 则反映了记忆的精确编码. 总之, 本研究从 ERP 的角度提供了前瞻记忆编码既与以往情景记忆编码有相同之处(LPC 更正), 又存在一些差异(P150 更正)的证据, 但这种差异需要进一步的研究来论证.

关键词

相继记忆效应

前瞻记忆

ERP P150 LPC

前瞻记忆是指人们形成某个意向, 并且在将来某个时刻记得执行这个意向的能力, 前瞻记忆具有延迟性、镶嵌性和自我激发提取的特点^[1]. 经典的前瞻记忆实验任务^[2], 一般要求被试在完成正在进行任务的同时, 如果遇到前瞻记忆线索, 则停止正在进行任务而去执行先前计划的意向动作. 例如, 要求被试对呈现的双字词进行声调判断(相同按“F”, 不同按“J”). 但是, 如果遇到红色的词则不需要判断声调而直接按“D”键做前瞻记忆反应. 前瞻记忆任务包含了 4 个认知过程^[3]: 形成意向(intention formation)、保持意向(intention retention)、激发意向(intention initiation)和执行意向(intention execution). 其中意向形成阶段是成功的前瞻记忆所必须的加工阶段, 是前瞻记忆

成功的前提^[4]. Ellis^[5]认为意向形成阶段包含了 3 种成分的编码(将来要完成的动作、执行动作时的某个情景或时刻以及意向本身的编码). Zöllig 等人^[4]认为形成意向不仅需要回溯记忆的加工, 而且还需要执行功能的参与. 例如, 我现在在教室里, 计划回宿舍经过超市时买一个练习本. 其中回溯记忆加工是指将来执行前瞻记忆任务的时刻或者情景(如路过超市); 执行功能是计划和协调做出前瞻记忆反应的决策(如买练习本).

自从提出前瞻记忆概念以来, 科学家开展了大量的研究, 主要集中在前瞻记忆的某个加工过程或者前瞻记忆提取的年龄差异^[6~14], 用认知神经科学技术(ERPs, fMRI 和 PET)对前瞻记忆编码的研究很少.

仅有的研究成果可以分为两个方面: 一方面, Poppenk 等人^[15]从再认前瞻记忆线索的角度用 fMRI 对前瞻记忆的编码进行了研究, 通过比较编码阶段产生意向(前瞻记忆)和产生动作(回溯记忆)的 ERPs, 结果发现成功的前瞻记忆在编码阶段既激活了预测一般记忆成功的颞叶(temporal lobe including the hippocampus), 也激活了将来意向加工的脑区, 如左喙侧前额叶(left rostrolateral PFC)和右海马旁回(right parahippocampal gyrus). 这表明前瞻记忆的编码既有共同的情景记忆网络, 又有独特的加工将来意向的执行网络. 另一方面, 一些研究者使用高时间分辨率的 ERP 技术对前瞻记忆的编码进行了研究^[4,10,11], 如 West 等人^[10,11]研究发现, 成年人前瞻记忆的编码与晚正成分(LPC)和额极慢波(FPSW)有关. 其中, LPC 是编码阶段比较前瞻记忆击中和前瞻记忆忘记的 ERPs 与进行中任务的 ERPs 或者比较前瞻记忆击中的 ERPs 与进行中任务的 ERPs 得出的^[4], 前瞻记忆击中的 ERPs 比前瞻记忆忘记的 ERPs 在顶区更正, 但是在额-颞区更负. West 等人^[11]认为顶区的 LPC 类似 P3, 而额区的 LPC 极性相反可能是因为 ERP 采用的是平均参考. Zöllig 等人^[4]研究发现青少年、成年人和老年人之间 LPC 存在显著差异, 认为这可能是因为采取的意向编码策略不同. FPSW 是额极持续的负波, 是比较前瞻记忆击中的 ERPs 与前瞻记忆忘记的 ERPs^[10,11]或者前瞻记忆击中的 ERPs 与进行中任务的 ERPs 得出的^[4], 反映了青少年和老年人精确的编码^[11]. 虽然极性相反, 但研究认为 FPSW 类似于相继记忆效应(Sm 或 Dm)^[16,17]. Dm 效应是后来记住的项目和后来忘记的项目引起的神经活动的差异, 以往大部分 Dm 效应研究发现, 后来记住的项目比后来忘记的项目诱发的 ERPs 更正(P300 或 LPCs)^[18].

上述研究都试图探索前瞻记忆编码的机制, 发现了前瞻记忆编码的一些有价值的信息, 但这些研究仍存在一些不足. 首先, 前瞻记忆也是一种特殊的情景记忆, 虽然以往的研究发现前瞻记忆编码与 LPC, FPSW 等 ERPs 有关, 认为 FPSW 类似以往 Dm 效应, 但是并没有将其与情景记忆的 Dm 效应进行比较, 前瞻记忆的 Dm 效应与情景记忆的 Dm 效应之间的关系仍不清楚; 其次, 已有的研究中后来“忘记”的 ERPs 叠加数比较少^[10,11], 而 ERP 是基于平均叠加的原理, Leynes 等人^[19]认为每个被试叠加数至少 15 次才能保证数据的有效. 因此, 这些研究结果有

待进一步验证; 此外, 他们没有区分意向形成阶段的不同成分^[5], 而不同成分可能影响前瞻记忆的编码. 前瞻记忆线索对前瞻记忆的成功起着很关键的作用, Poppenk 等人^[15]从前瞻记忆线索的角度对前瞻记忆的编码进行了 fMRI 研究. 为了便于与此前的研究进行对比, 本研究也从前瞻记忆线索的角度(红色的双字词)对前瞻记忆的编码机制进行研究.

本研究旨在用 ERP 技术探讨前瞻记忆的 Dm 效应及其与以往情景记忆的 Dm 效应之间的关系. 实验程序在 West 和 Krompinger^[13]研究的基础上进行了修改, 加入了分心任务防止被试复述、以低频汉字为实验材料、调整了刺激的呈现时间和刺激之间的间隔等. 本研究对前瞻记忆的编码和提取同时进行考察, 不同于 West 和 Krompinger 仅仅探讨提取阶段的研究. 更重要的是, 本研究侧重于前瞻记忆的编码机制, 比较了随后前瞻记忆击中的 ERPs 与随后前瞻记忆忘记的 ERPs. 由于以往 fMRI 研究发现前瞻记忆的编码既有一个共同的情景记忆网络, 又有一个加工将来意向的执行网络. 因此, 本研究假设前瞻记忆的编码可能产生与将来意向加工有关的 ERPs, 这表明前瞻记忆的 Dm 效应不同于以往情景记忆的 Dm 效应, 这也从 ERP 的角度为前瞻记忆的编码提供了证据.

1 实验方法

1.1 被试

15 名被试均为北京高校学生(7 男、8 女), 年龄为 18~24 岁, 平均年龄是 22 岁. 所有被试普通话标准, 右利手, 视力或矫正视力正常, 无脑部疾病史. 实验之前征得被试的同意, 填写《ERP 实验知情同意书》.

1.2 刺激材料

在《现代汉语常用词词频词典》^[20]中查找 1440 个双字词, 其中一个字相同另外一个字不同的相似词 192 对(前瞻记忆线索与前瞻记忆诱饵、回溯记忆线索与新词各 96 对), 其余为进行中任务的双字词. 这些双字词的词频都低于百万分之五, 声调相同与不同各半, 平衡了 4 种声调、熟悉性和视觉复杂性等, 排除了多音字的情况.

1.3 实验程序

被试坐在隔音电磁屏蔽室的沙发里, 所有的刺

激都呈现在屏幕中央, 背景为黑色, 文字为 60 号宋体字. 要求被试在刺激呈现过程中尽量控制眨眼, 屏幕距离被试 80 cm, 视角为 $1.43^{\circ} \times 1.02^{\circ}$, ITI 为 (900 ± 200) ms. 该实验一共 48 个 block, 每个 block 由 3 个阶段组成. (i) 编码阶段: 以伪随机的方式给被试相继呈现 2 个前瞻记忆线索(PM cue, 红色词)和 2 个回溯记忆线索(RM cue, 蓝色词), 每个线索的呈现时间为 500 ms. 要求被试尽量记住这两类词语. 编码阶段结束后呈现一个 3 位数, 要求被试进行倒减 3 的运算, 持续 3000 ms; (ii) 进行中任务阶段: 该阶段包含 26 个刺激(22 个进行中任务、2 个前瞻记忆线索和 2 个前瞻记忆诱饵), 每个双字词呈现 1300 ms, 要求被试判断双字词的声调是否相同(相同按“F”键, 不同按“J”键), 相同与否各半, 左右手对应的键在被试间取得平衡. 但是如果遇到编码阶段见过的前瞻记忆线索, 则不需要做声调判断, 直接按“D”键做前瞻记忆反应. 前瞻记忆线索和前瞻记忆诱饵出现的顺序前后各半, 前瞻记忆诱饵仍做声调判断; (iii) 回溯记忆阶段: 指导语提示被试进行再认判断, 如果是学习阶段见过的双字词(旧词), 则按“K”键, 没见过的则不需反应. 在实验前, 给被试一张实验流程图(图 1), 直到被试完全理解实验程序才开始实验, 正式实验前先进行练习.

1.4 脑电数据的采集与分析

采用 Neuroscan ERPs 记录与分析系统, 根据国际 10~20 系统扩展的 62 导 Ag/AgCl 电极帽记录 EEG,

左眼眶上下记录垂直眼电, 双眼外侧记录水平眼电. 参考电极置于左侧乳突, 接地点在 FPz 和 Fz 的中点, AD 采样频率为 500 Hz, 滤波带通为 0.05~40 Hz, 电极与头皮之间的阻抗小于 5 k Ω . 对记录获得的连续 EEG 进行离线分析处理, 排除眼动伪迹, 剔除迭加的过程中在 $\pm 75 \mu V$ 之外的伪迹, 以左右乳突的代表平均为参考电压进行修正.

ERPs 数据分析采用平均振幅法, 基于已有的研究^[4,13,21], 编码阶段分析时程为 -100~900 ms, 选择 100~200, 250~280 和 400~700 ms 3 个时间窗; 提取阶段的分析时程为 -100~1200 ms, 选择 200~400 和 400~900 ms 两个时间窗. 去伪迹之后, 编码阶段, 随后前瞻记忆击中和随后前瞻记忆忘记的平均叠加数(trials)分别为 51.00 和 37.73; 提取阶段, 前瞻记忆击中、前瞻记忆漏报和进行中任务的平均叠加数分别为 50.93, 39 和 787.13. 因为回溯记忆忘记的叠加数非常少(15 名被试的平均叠加数为 23, 范围在 12~45 之间), 而 ERP 数据分析是基于平均叠加的原理, 其叠加数的多少直接影响实验结果, 并且本研究侧重分析 Dm 效应. 因此, 研究只报告了前瞻记忆的实验数据, 没有报告回溯记忆的相关结果. 前瞻记忆的 ERPs 是所有 15 个被试在 21 个电极的结果, 前后位置(额极区、额区、额-中央区、中央区、中央-顶区、顶区、枕区)和单侧化(左、中、右), 包括左侧的 FP1, F3, FC3, C3, CP3, P3, O1, 中间的 FPz, FCz, Fz, Cz, CPz, Pz, Oz 和右边的 FP2, F4, F C4, C4, CP4, P4, O2. 使用 SPSS13.0 软件对 ERP 平均振幅进行分析, 并采用 Greenhouse-Geisser 法矫正.

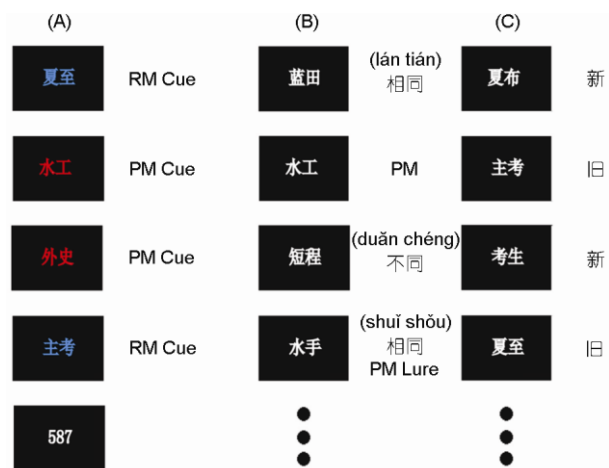


图 1 实验流程图

(A) 编码阶段; (B) 进行中任务阶段; (C) 再认阶段

2 实验结果

2.1 行为结果

对进行中任务阶段不同项目(前瞻记忆、前瞻记忆诱饵、进行中任务)的正确率和反应时分别进行了单因素重复测量方差分析(表 1), 结果显示, 三者的正确率存在显著差异($F(2, 28)=62.85, P<0.01$), 经 Bonferroni 事后比较发现, 前瞻记忆的正确率($M=0.57$)显著低于前瞻记忆诱饵($M=0.74$)和进行中任务($M=0.83$)的正确率, $PS<0.01$; 前瞻记忆诱饵的正确率($M=0.74$)也显著低于进行中任务的正确率($M=0.83$), $P<0.05$. 三者的反应时也存在显著差异($F(2, 28)=54.60, P<0.01$), 事后比较发现, 前瞻记忆的反应时

表 1 进行中任务阶段不同项目的正确率和反应时

	正确率(SE)	反应时(SE)
前瞻记忆	57% (2.67)	1046 (39.51)
前瞻记忆诱饵	74% (1.96)	1328 (49.65)
进行中任务	83% (2.17)	1250 (44.51)

($M=1045.90$ ms)显著快于前瞻记忆诱饵($M=1328.17$ ms)和进行中任务($M=1250.14$ ms)的反应时, $PS<0.01$; 而前瞻记忆诱饵的反应时($M=1328.17$ ms)显著长于进行中任务的反应时($M=1250.14$ ms), $P<0.05$, 这表明前瞻记忆诱饵词消耗了更多的注意资源或者诱导被试复述了前瞻意向。

2.2 编码阶段的 ERP 结果

为了检验 Dm 效应, 比较了编码阶段随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs 与随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs (图 2), 选择了 3 个时间窗: 100~200 ms(P150), 250~280 ms(fbN2), 400~700 ms(LPC), 分别对每个时间窗的平均振幅进行了 2(Dm 效应:随后前瞻记忆击中、随后前瞻记忆忘记) $\times$ 7(前后位置) $\times$ 3(单侧化)的三因素重复测量方差分析。

100~200 ms 之间的 P150 统计结果显示, Dm 效应的主效应显著 ($F(1, 14)=11.96, P<0.01$), 随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs 更正. Dm 效应与脑区的交互作用显著 ($F(6, 84)=4.08, P<0.05$), 前后位置与单侧化之间的交互作用也显著 ($F(12, 168)=3.53, P<0.05$), 这表明在不同的脑区 Dm 效应具有不同的形式. 进一步对每个脑区进行 2(Dm 效应) $\times$ 3(单侧化)的重复测量方差分析, 结果发现, 从额极至枕区所有脑区相继记忆的主效应均显著 ($PS<0.05$), 随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs 波形更正, 但是每个脑区 Dm 效应与单侧的交互作用不显著 ($PS>0.05$). Dm 效应在其余两个时间窗(250~280 ms, 400~700 ms)的主效应显著(fbN2, $F(1, 14)=4.60, P<0.05$; LPC, $F(1, 14)=7.39, P<0.05$), 随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs 波形更正, 但是 Dm 效应与脑区的交互作用都不显著 ($PS>0.05$).

在图 2(A)中前瞻记忆的 Dm 效应出现了一个早期的 ERPs 分离, 尤其是 Pz 电极随后前瞻记忆击中的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记的 ERPs 似乎在刺激呈现开始就出现了更正的趋势. 对 0~100 ms 的时间窗进行了 2 $\times$ 7 $\times$ 3 的重复测量方差分析, 结果显示 Dm 效

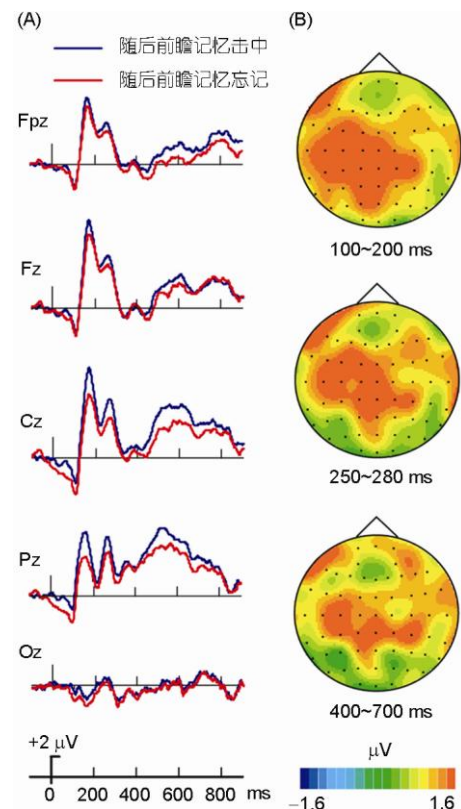


图 2 前瞻记忆的 Dm 效应

(A) 编码阶段, 随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs(蓝线)与随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs(红线)波形图比较(左列); (B) 随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs 与随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs 差异波地形图比较(右列)

应、前后位置和单侧化的交互作用不显著 ($F(12, 168)=1.60, P>0.05$), 但是 Dm 效应的主效应边缘显著 ($F(1, 14)=4.61, P=0.05$), 这种现象在以往非词的 Dm 效应研究中报道过^[22].

2.3 提取阶段的 ERP 结果

由于 Dm 效应是基于提取阶段的成绩而进行的比较, 因此简单报告提取阶段前瞻记忆击中, 前瞻记忆漏报和进行中任务的成绩(图 3), 对 200~400 ms (N300)和 400~900 ms (前瞻正成分)这两个时间窗的平均振幅进行了 3 (项目类型: 前瞻记忆击中, 前瞻记忆漏报和进行中任务) $\times$ 7 (前后位置) $\times$ 3 (单侧化)的三因素重复测量方差分析。

对 200~400 ms 之间的 N300 进行三因素重复测量方差分析, 结果显示, 项目类型的主效应 ($F(2, 28)=12.27, P<0.01$)、项目类型与脑区的交互作用 ($F(12, 168)=3.93, P<0.05$)以及前后位置与单侧化的

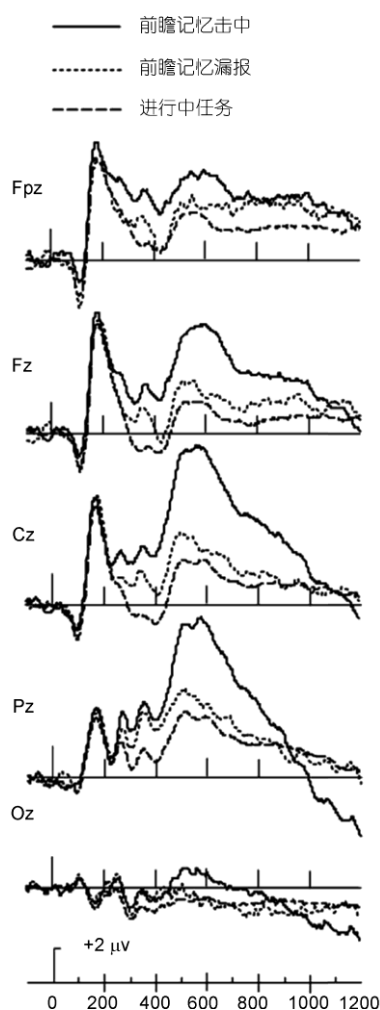


图3 提取阶段, 前瞻记忆击中、前瞻记忆漏报和进行中任务诱发的 ERPs 波形图比较

包含 200~400 ms 之间的 N300, 400~900 ms 之间的额区正成分和前瞻正成分

交互作用($F(12, 168)=3.04, P<0.05$)都显著。进一步对每个脑区进行 3 (项目类型: 前瞻记忆击中、前瞻记忆漏报、进行中任务) $\times$ 3 (单侧化: 左、中、右)的重复测量方差分析, 结果表明, 每个脑区项目类型的主效应均显著($PS<0.05$), 前瞻记忆击中诱发的 ERPs 和前瞻记忆漏报诱发的 ERPs 都比进行中任务诱发的 ERPs (N300)振幅更大, 并且主要表现在中央区、中央-顶区、顶区和枕区。但是前瞻记忆击中和前瞻记忆漏报之间却没有显著差异($PS>0.05$), 每个脑区条件与单侧化的交互作用都不显著($PS>0.05$)。

对 400~900 ms 之间的平均振幅也进行了类似的重复测量方差分析, 结果显示, 项目类型的主效应显

著($F(2, 28)=19.31, P<0.01$), 项目类型与脑区的交互作用显著($F(12, 168)=86.73, P<0.01$), 前后位置与单侧化之间的交互作用也显著($F(12, 168)=7.16, P<0.01$)。进一步对每个脑区进行项目类型和单侧化的两因素重复测量方差分析, 结果发现, 每个脑区项目类型的主效应均显著($PS<0.05$), 额区前瞻记忆击中的 ERPs 比前瞻记忆漏报的 ERPs 振幅更大。顶区前瞻记忆击中诱发的 ERPs 比前瞻记忆漏报或者进行中任务诱发的 ERPs 振幅更大。额区和顶区的正成分被 West 分别称为额区正成分和前瞻正成分。提取阶段前瞻记忆击中和前瞻记忆漏报之间的 ERPs 差异与以往研究发现再认成功和再认失败之间的 ERPs 差异一致^[23]。

3 讨论

3.1 前瞻记忆的相继记忆效应(Dm 效应)

本研究旨在探讨成功的前瞻记忆编码的神经机制, 根据提取阶段前瞻记忆的成绩, 分析了前瞻记忆的 Dm 效应。首先, 前瞻记忆的正确率显著低于声调判断的前瞻记忆诱饵和进行中任务, 而反应时却最快, 与此前的研究结果一致^[9,13]。正确率低可能是因为前瞻记忆需要自我激发提取^[16,24]。前瞻记忆的反应时快验证了意向优先效应^[25], 也可能是因为本实验中再认前瞻记忆线索的任务比声调判断的任务简单。其次, 前瞻记忆诱饵的正确率显著低于进行中任务的正确率, 但是已有研究发现二者的正确率不显著。这可能是因为以往的研究中前瞻记忆诱饵与前瞻记忆线索是语义相关^[13,26], 而本研究中前瞻记忆诱饵是由一个字相同, 另一个字不同组成的相似词, 更注重字的形状或结构相似而非语义相关, 这样容易导致被试对前瞻记忆诱饵做出前瞻记忆反应, 并且, 统计显示平均误报率为 0.07, 所以虽然都是判断声调, 但是诱饵词的正确率会显著低于进行中任务的正确率。前瞻记忆诱饵的反应时显著长于进行中任务的反应时, 这与以往研究一致^[9,13,26], 有些研究认为这可能是因为诱饵词消耗了一定的注意资源^[9,26], 也有研究认为可能是诱饵词激发了被试复述前瞻意向^[27]。

除了早期的 P150 以外, 随后前瞻记忆击中的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记的 ERPs 更正, 这与以往的 Dm 效应研究是一致的^[28,29]。Paller 和 Wagner^[29]认

为编码至少包含两种成分: 一种成分调节感觉输入转化为内部表征, 另一种成分是把内部表征转化为记忆痕迹. 而且, McDaniel 和 Robinson-Riegler^[30]提出的自动激活理论认为前瞻记忆受到自动联结记忆系统的调节, 前瞻记忆的机制是编码记忆痕迹. 因此, 随后前瞻记忆击中的刺激可能产生了更强的内部表征或者更深的记忆痕迹, 从而导致了相应的 ERPs 变化.

早期 P150 随后前瞻记忆击中的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记的 ERPs 更正, 这可能与前瞻记忆的编码有关. 首先, 根据 Smith^[16]提出的准备注意记忆加工的理论(preparatory attentional processes and memory processes, PAM), 认为成功的事件性前瞻记忆需要消耗注意资源. 随后前瞻记忆击中的刺激可能比随后前瞻记忆忘记的刺激消耗了更多的注意资源, 从而诱发了早期 ERPs 的变化. 其次, 有研究表明成功地执行意向与两个显著的神经活动有关: 一是与颞叶有关的一般情景记忆网络, 二是包含左喙侧前额叶和右海马旁回的独特地与前瞻记忆有关的执行网络^[15]. 基于地形图结果(图 2B), 可以看出在 100~200 ms 之间前瞻记忆的编码激活了左额区和中央-后部脑区. Leynes 等人^[19]发现被试需要建立意向来完成的动作比仅记忆的动作在右额区诱发了更正的 ERPs, 认为这不仅反映了将要记得的差异, 而且还反映了建立一种将来要执行该行为的意向加工. Okuda 等人^[31]认为额叶(左额极和右腹侧前额区)调节了记忆的意向加工, 即当遇到前瞻记忆线索时, 随后前瞻记忆击中的被试产生了这种意向, 而随后前瞻记忆忘记的被试却没有产生这种意向. 因此, 随后前瞻记忆击中诱发的 ERPs 比随后前瞻记忆忘记诱发的 ERPs 更正可能是因为前者产生了前瞻记忆意向. 这与 Poppenk 等人^[15]的研究结果一致, 他们发现额叶网络独特地与前瞻记忆有关, 这表明前瞻记忆的编码与其他的情景记忆编码存在一些差异. 第三, 很多 Dm 效应研究发现后来记住的项目比后来忘记的项目大约 400~800 ms 在顶区诱发的 ERPs 更正^[28,32], 而在该早期没有出现这种 Dm 效应. 由于注意经常诱发早期的 ERPs (N1 或 P1), 并且准备注意加工理论认为, 即使线索还没有出现, 也会有一个准备注意的过程. 因此, 鉴于该 Dm 效应出现的时间比较早, 这需要更深入的研究来探讨该成分与前瞻记忆的关系.

fbN2 和 LPC 这两种 ERP 成分与以往情景记忆编码的研究结果一致^[21,31,32]. 以汉语为实验材料的研究

报告了 fbN2 成分. 郭春彦等人^[21]用汉字对来源记忆和项目记忆进行了研究, 结果发现在 220~280 ms 之间的额区存在早期的 Dm 效应, 认为该早期的 Dm 效应反映了汉字的加工. 本研究也采用汉字为实验材料, 但是本研究中 fbN2 的分布比郭春彦等人^[21]研究中 fbN2 的分布更广泛, 这可能与不同的记忆编码时消耗的注意资源不同有关.

400~700 ms 之间的 LPC 也与以往 Dm 效应的研究一致^[32~34]. 以往大量研究发现后来记住的项目比后来忘记的项目诱发的 ERPs 更正, 并且这种效应在 400~800 ms 之间顶区最大, 该成分被看成是 P300 或者 LPC 成分, 反映了后来记住的项目的高级精确编码^[32]. Paller 等人^[35]的研究发现 400~700 ms 之间在 Fz, Cz, Pz 电极存在显著的 Dm 效应. Yovel 和 Paller^[36]对面孔刺激的 Dm 效应进行了研究, 发现回忆的 Dm 效应在 400~800 ms 显著, 而熟悉性的 Dm 效应在 600~800 ms 之间显著. 郭春彦等人^[33]对面孔与名字匹配的研究, 结果发现 400~600 ms 之间来源记忆和项目记忆的 Dm 效应都显著. 本研究中的 LPC 与 West^[9,11]研究中的额极慢波(FPSW)类似, 他们发现成功实现意向与没有实现意向的刺激在 575~625 ms 产生的 FPSW 虽然极性相反, 但是其认知功能与回溯记忆编码相同. 本研究中发现的 LPC, 除了不同于 West 等人^[9,11]的研究外, 其极性与以往的研究都一致, 研究结果支持 Poppenk 等人^[15]的观点, 认为前瞻记忆的编码有一个共同的情景记忆网络. 这也支持与 Zöllig 等人^[4]的观点, 认为意向的形成包含了回溯记忆成分. 本研究的结果特别是晚期的 ERP 反应, 表明前瞻记忆的编码在很大程度上与其他的记忆相似, 但早期成分却不同.

3.2 前瞻记忆提取阶段的神经机制

本研究发现了与前瞻记忆的提取有关的 ERPs (N300、额区正成分和前瞻正成分), 与此前的研究一致^[9,10,13]. N300 是刺激呈现 300~500 ms 之间在枕-顶区产生的一个阶段性负波, 该成分与探测前瞻记忆线索有关^[10,11]. 前瞻正成分和额区正波是刺激呈现 500~1000 ms 之间分别在顶区和额区产生的正波^[9], 该成分反映了从记忆中提取意向的加工^[10](图 3). West 等人研究发现, N300 的振幅似乎在外侧电极(如 PO 电极)比在中线电极(POz)大, 而 P3b 振幅却小. West 认为这种差异可能是由于采用的 ERP 参考方法

不同导致的, 因为该研究采用的是乳突参考而非平均参考. 此外, 前瞻正成分也类似于情景记忆中提取信息相关的 LPC (如, 新旧效应)^[37-40].

3.3 局限与展望

该研究中出现了一个早期的 Dm 效应, 似乎从刺激呈现开始就出现了分离, 并且统计结果也显示边缘显著, 这个效应曾在非词的 Dm 效应中出现过^[22], 这可能是因为被试提高了对前瞻记忆线索的注意, 从而引起了早期的 ERP 成分变化. 鉴于这种分离似乎从 0 ms 开始, 并且编码阶段学习的 4 个线索词是按序列方式呈现的, 这可能因为 ITI 间隔不够长. 因此, 可以采取在任务线索之前呈现提示线索或者延长 ITI 的措施来开展进一步的研究. 这些措施可能能够解决这个问题, 因为提示线索既能使前瞻记忆任务与再认测验类似, 又能降低回溯记忆的成绩, 所以用这种方法进行研究可能还能比较前瞻记忆的 Dm

效应与回溯记忆的 Dm 效应.

本研究使用高时间分辨率的 ERP 技术对前瞻记忆编码与提取同时进行考察, 侧重探讨了前瞻记忆的 Dm 效应, 丰富了记忆编码的 Dm 效应的理论. 研究发现, 前瞻记忆的 Dm 效应与以往情景记忆的 Dm 效应存在一些差异, 这种差异表现为随后前瞻记忆击中比随后前瞻记忆忘记诱发的早期 P150 更正, 该成分可能反映了前瞻记忆的准备注意加工或者将来意向的加工. 查阅相关文献, 也没有发现该早期的 Dm 效应的报道. 遗憾的是, 本研究不能直接比较前瞻记忆的 Dm 效应与回溯记忆的 Dm 效应. 因此, 这需要进行进一步的研究来进行论证. 但是, 前瞻记忆的编码也与以往记忆编码有相同之处, 如 250~280 ms 之间的 fbN2 和 400~700 ms 之间额区和中央顶区的 LPC. 此外, 本研究也发现与前瞻记忆的提取阶段有关的 ERPs: 与探测前瞻记忆线索有关的 N300 和与从记忆中提取意向有关的正成分.

致谢 感谢 West R. (Iowa State University, USA)对本实验提出的宝贵意见.

参考文献

- 1 Einstein G O, McDaniel M A, Thomas R, et al. Multiple processes in prospective memory retrieval: Factors determining monitoring versus spontaneous retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2005, 134: 327-342
- 2 Bisiacchi P S, Schiff S, Ciccola A, et al. The role of dual-task and task-switch in prospective memory: Behavioural data and neural correlates. *Neuropsychologia*, 2009, 47: 1362-1373
- 3 Kliegel M, Martin M, McDaniel M A, et al. Complex prospective memory and executive control of working memory: A process model. *Psychologische Beiträge*, 2002, 44: 303-318
- 4 Zöllig J, Martin M, Kliegel M. Forming intentions successfully: Differential compensational mechanisms of adolescents and old adults. *Cortex*, 2010, 46: 575-589
- 5 Ellis J A, Freeman J E. Ten years on: Realizing delayed intentions. In: Kliegel M, McDaniel A, Einstein G O, Eds. *Prospective memory: Cognitive, neuroscience, developmental and applied perspectives*. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 2008. 1-27
- 6 Burgess P W, Quayle A, Frith C D. Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission technology. *Neuropsychologia*, 2001, 39: 545-555
- 7 Simons J S, Schölvinc M L, Gilbert S J, et al. Differential components of prospective memory? Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 2006, 44: 1388-1397
- 8 West R, Herndon R W, Ross-Munroe K. Event-related neural activity associated with prospective remembering. *Applied Cognitive Psychology*, 2000, 14: 115-126
- 9 West R, Herndon R W, Crewdson S J. Neural activity associated with the realization of a delayed intention. *Cognitive Brain Research*, 2001, 12: 1-10
- 10 West R, Ross-Munroe K. Neural correlates of the formation and realization of delayed intentions. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 2002, 2: 162-173
- 11 West R, Herndon R W, Covell E. Neural correlates of age-related declines in the formation and realization of delayed intentions. *Psychology and Aging*, 2003, 18: 461-473

- 12 West R, Wymbs N, Jakubek K, et al. Effects of intention load and background context on prospective remembering: an event-related brain potential study. *Psychophysiology*, 2003, 40: 260–276
- 13 West R, Krompinger J. Neural correlates of prospective and retrospective memory. *Neuropsychologia*, 2005, 43: 418–433
- 14 West R, McNeerney M W, Travers S. Gone but not forgotten: The effects of cancelled intentions on the neural correlates of prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, 2007, 64: 215–225
- 15 Poppenk J, Moscovitch M, McIntosh A R, et al. Encoding the future: Successful processing of intentions engages predictive brain networks. *NeuroImage*, 2010, 49: 905–913
- 16 Smith R E. The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: Investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2003, 29: 347–361
- 17 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
- 18 Sanquist T F, Rohrbaugh J W, Syndulko K, et al. Electrophysiological signs of levels of processing: perceptual analysis and recognition memory. *Psychophysiology*, 1980, 17: 568–576
- 19 Leynes P A, Marsh R L, Hicks J L, et al. Investigating the encoding and retrieval of intentions with event-related potentials. *Consciousness and Cognition*, 2003, 12: 1–30
- 20 刘源. 现代汉语常用词频词典. 北京: 宇航出版社, 1990
- 21 Guo C Y, Zhu Y, Ding J H, et al. An electrophysiological investigation of memory encoding, depth of processing, and word frequency in humans. *Neuroscience Letters*, 2004, 356: 79–82
- 22 Otten L J, Sreen J, Quayle A H. Distinct patterns of neural activity during memory formation of nonwords versus words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2007, 19: 1776–1789
- 23 郭春彦, 陈文君, 田甜, 等. 提取意向对未再认词提取过程的影响. *科学通报*, 2010, 55: 1831–1838
- 24 Graf P, Uttl B. Prospective memory: a new focus for research. *Consciousness and Cognition: An International Journal*, 2001, 10: 437–450
- 25 Maylor E A, Darby R J, Sala S D. Retrieval of performed versus to-be-performed tasks: a naturalistic study of the intention-superiority effect in normal aging and dementia. *Applied Cognitive Psychology*, 2000, 14: 83–98
- 26 West R, Craik F I M. Age-related decline in prospective memory: The roles of cue accessibility and cue sensitivity. *Psychology and Aging*, 1999, 14: 264–272
- 27 Taylor R S, Marsh R L, Hicks J L et al. The influence of partial-match cues on event-based prospective memory. *Memory*, 2004, 12: 203–213
- 28 Friedman D, Johnson R Jr. Event-related potential (ERP) studies of memory encoding and retrieval: A selective review. *Microscope Research and Technique*, 2000, 51: 6–28
- 29 Paller K A, Wagner A D. Observing the transformation of experience in to memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 2002, 6: 93–102
- 30 McDaniel M A, Robinson-Riegler B, Einstein G O. Prospective remembering: Perceptually driven or conceptual driven process? *Memory and Cognition*, 1998, 26: 121–134
- 31 Okuda J, Fujii T, Yamadori A, et al. Participation of the prefrontal cortices in prospective memory: evidence from a PET study in humans. *Neuroscience Letters*, 1998, 253: 127–130
- 32 Voss J L, Paller K A. Neural substrates of remembering-electroencephalographic studies. *Learning and memory: A comprehensive reference*, 2008, 3: 79–97
- 33 Guo C Y, Duan L, Li W, et al. Distinguishing source memory and item memory: Brain potentials at encoding and retrieval. *Brain Research*, 2006, 1118: 142–154
- 34 Fernández G, Weyerts H, Tendolkar I, 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
- 35 Paller K A, McCarthy G, Wood C C. ERPs predictive of subsequent recall and recognition performance. *Biological Psychology*, 1988, 26: 269–276
- 36 Yovel G, Paller K A. The neural basis of the butcher-on-the-bus phenomenon: When a face seems familiar but is not remembered. *Neuroimage*, 2004, 21: 789–800
- 37 刘荣, 郭春彦, 姜扬. 儿童工作记忆的事件相关电位研究. *科学通报*, 2006, 51: 1182–1189
- 38 孟迎芳, 郭春彦. 内隐记忆和外显记忆的 ERP 分离和联系. *科学通报*, 2007, 52: 2021–2028
- 39 聂爱情, 郭春彦, 沈模卫. 听觉来源提取的材料差异性: 来自 ERP 的证据. *科学通报*, 2008, 53: 1664–1672
- 40 刘兆敏, 郭春彦. 工作记忆与选择性注意的交互作用. *科学通报*, 2007, 52: 1788–1795