儿童工作记忆的事件相关电位

刘荣 郭春彦* 姜扬

(首都师范大学初等教育学院, 北京 100037; 首都师范大学心理系, 北京 100037; Behavioral Science Department, University of Kentucky College of Medicine, Lexington, Kentucky, KY 40536-0086, USA. * 联系人, E-mail: guocy@mail.cnu.edu.cn)

摘要 采用事件相关电位(ERPs)技术探讨了类似于 Delayed-Matching-to-Sample 任务范式下 12~13 岁儿童的工作记忆神经机制。实验结果显示, 无论熟悉客体还是新客体, 工作记忆的 ERPs 均显示了潜伏期 350 ms 左右的一个晚正成分, 新客体的潜伏期比熟悉客体有所提前; 相比熟悉客体, 新客体的工作记忆在 ERPs 波形上表现出更正走向, 这种大脑活动主要发生在额区-中央区。在分别追踪新靶和熟悉靶的工作记忆任务条件下, 靶与分心物的 ERPs 波形在 150 ms 后出现分离, 且靶刺激均比分心物更正; 新分心物、熟悉分心物显示出 150~350 ms 的额区新/旧效应以及 350~550 ms 的顶区新/旧效应; 靶的新/旧效应不同于分心物新/旧效应, 新靶更正, 且主要发生在 250 ms 之后; 与熟悉靶相比, 新靶出现 P3a 成分。本研究结果揭示了儿童工作记忆神经机制的时空特征, 且某些特征不同于成人。

关键词 儿童 工作记忆 靶 分心物 事件相关电位 新/旧效应

工作记忆是对有限容量信息进行暂时贮存和保持, 并对此信息进行操作加工和执行控制的系统^[1]。对以往熟悉事件(熟悉客体)或当前事件(新客体), 都会涉及信息在工作记忆中进行保持、刷新、转换等过程。Casey 等人^[3]的 fMRI 实验结果显示, 9~11 岁儿童执行工作记忆任务时激活的脑区与成人类似, 内侧额叶(inferior frontal gyres)和额叶回中线两侧激活较大。另有一部分被试在右眶额叶(right orbitofrontal)或左眶额叶(left orbitofrontal)、扣带前回(anterior cingulate)及额上回(superior frontal gyri)上有激活。Thomas 等人^[4]利用空间工作记忆任务对 8~10 岁儿童的研究得出了类似结论。另有许多新/旧效应的事件相关电位(event-related potentials, ERPs)的研究也为上述实验结论提供了依据。Cycowicz 等人^[5]的实验显示, 4 个年龄组(5~7, 9~11, 14~16, 22~28)的被试执行新/旧再判断任务时, 均出现 300~700 ms 时程上的新/旧效应, 重复再现的旧图片波形更正。该实验结果显示, 虽然记忆编码和提取加工效率随年龄而提高, 但是在大脑机制上儿童和成人相似。Itier 和 Taylor^[6]也证实了上述研究结论, 发现面孔再认成绩虽然随年龄而提高, 但各年龄组均出现类似的额区新/旧效应, 仅在 ERPs 各成分上显示出年龄效应, 反映出儿童到青少年成长中不同的成熟过程。Gathercole^[2]认为, 7 岁以后的儿童在记忆组织和策略上基本与成人类似, 仅在量上有逐步提高。上述研究基本支持如下观点, 再认记忆任务中 5~16 岁儿童的记忆加工基本与成人

类似(如新/旧效应)^[7~10], 两者差异主要表现在量的差别上。

另有部分实验得出了与上述观点不一致的结果。Cycowicz 等人^[10]发现, 年长被试(14~16, 22~28)在听觉新异oddball任务中表现出新/旧效应, 而年幼被试(5~7, 9~11)则没有观察到该效应。Marshall 等人^[11]的实验结果显示, 4 岁儿童和成人在项目再认任务上均有新/旧效应, 只是在时间进程和头皮分布的单侧化上有年龄差异。综上所述, 儿童记忆随年龄发展具有不同特点, 某些研究认为年长儿童(约 7 岁以后)的记忆加工基本接近了成人水平, 而另有研究者则指出儿童在某些特定条件下具有与成人类似的脑机制, 在另一些条件下则不同。

由于事件相关电位(ERPs)技术具有无损伤性和高时间分辨率等特点, 使得该技术广泛应用于成人研究中, 但是儿童记忆的 ERPs 研究相对较少^[12], 特别是直接探讨儿童工作记忆的 ERPs 研究更为缺乏。本研究目的是采用 ERPs 技术探讨儿童客体工作记忆的神经机制特征, 尤其是() 儿童在加工以往记忆中贮存的熟悉客体和当前呈现的新客体时, 两者的工作记忆在脑区分布和时间进程上是否存在不同特征; () 当同样客体赋予不同工作记忆任务(如靶或分心物)时, 儿童的神经机制活动是否存在差异。

需要说明的是, 多数工作记忆的 ERPs 研究虽然使用的任务范式不同, 但是在分析工作记忆 ERPs 时基本都选择了被试再认阶段的脑电数据。本研究提

出了新的工作记忆测量方法,即对工作记忆的脑电分析使用靶刺激的ERPs减去分心物刺激的ERPs^[13],两者的差异波恰好反映出被试对靶的保持和对分心物的排除,体现了工作记忆概念的核心内容。

1 方法

() 被试. 被试为北京市某小学的 15 名小学生,女 8 名,男 7 名,年龄在 12~13 岁之间,平均年龄为 12.6 岁。被试均为右利手,身体健康,视力或者矫正视力正常。实验前均得到学生监护人的同意,实验结束后给予一定报酬。

() 刺激材料. 实验材料选用了Snodgrass和Vanderwart^[14]设计的线条图片,共 240 张,图片大小 8.3 cm × 5.8 cm,视距 80 cm,视角约为 7°。实验前先让被试学习 60 张图片,在工作记忆任务阶段该 60 张图片作为熟悉靶图片或熟悉分心物图片(两种图片均为 60 张)。另 180 张未学习过的新图片中,60 张用作新靶图片,120 张用作新分心物图片。新旧靶图片和新旧分心物图片在相似性和复杂性上均进行了匹配。

() 实验程序. 被试坐在照明柔和适度的电磁屏蔽室内完成整个实验程序。实验分为学习阶段和工作记忆任务阶段(实验程序见图 1)。学习阶段被试学习并记住 60 张图片,对这些图片的再认正确率应该在 95% 以上,以保证这些图片在工作记忆阶段作为熟悉客体(熟悉靶或者熟悉分心物)。

工作记忆任务阶段采用类似于“delayed-matching-to-sample”的任务范式。一个序列(trial)由 1 个靶和

9 个测验图片组成。靶有 2 种:新靶和熟悉靶;测验图片有 3 种:靶、已学习过的熟悉分心物、未学习过的新分心物。伴随着提示音“叮”的同时,呈现一个新靶或熟悉靶(sample) 3000 ms,随后随机呈现 3 种测验图片,每种测验图片重复出现 2~4 次,共出现 9 次。每个测验图片呈现时间 700 ms,2 个图片呈现间隔显示“+”注视点,刺激间隔(inter-stimulus interval, ISI)在 1000~1200 ms 随机变化。相继两个序列之间呈现“+”注视点 2500 ms。在出现 3 种测验图片时,要求被试对“靶”做一个按键反应,对“分心物”(熟悉和新分心物)做另一个按键反应。被试用大拇指在反应盒上做按键反应,左右手按键顺序进行被试间平衡,要求被试又快又准的进行反应。

10 个序列构成 1 个组块(block),实验共 12 个组块。组块的构成有两种,分别为新靶-新分心物-熟悉分心物和熟悉靶-新分心物-熟悉分心物,两种组块的数量各 50%,其出现顺序采用“ABBAAB……”平衡方法。任意两个组块之间有 2~3 min 休息时间。

() ERPs 记录. 采用 NeuroScan ERPs 记录与分析系统,按国际 10~20 系统扩展的 64 导电极帽记录 EEG。双侧乳突连线为参考电极,双眼外侧安置电极记录水平眼电(HEOG),左眼上下安置电极记录垂直眼电(VEOG)。滤波带通为 0.05~100 Hz,采样率为 500 Hz,头皮阻抗 < 5 kΩ。

() ERPs 数据处理与统计分析. 完成连续 EEG 记录后进行离线(off-line)数据处理,眼动伪迹自

图 1 实验程序

动拒掉, 其他伪迹去除标准为 $\pm 80 \mu\text{V}$. 本实验只分析测验图片的脑电数据, 对反应正确的 EEG 进行叠加. 脑电分析时程(epoch)为图片呈现后 900 ms, 基线为图片呈现前 100 ms. 根据相关研究以及对本实验 ERPs 波形的直观观察基础上, 选取了中线 5 个电极 Fpz, Fz, Fcz, Cz, Pz 进行分析.

数据处理统计采用三因素或二因素重复测量方差分析, 三因素分别为靶(新靶和熟悉靶)、测验图片(靶、熟悉分心物、新分心物)、电极位置(Fpz, Fz, Fcz, Cz, Pz), 本文数据处理中测验图片因素的“靶”对应于靶因素的新靶或熟悉靶; 两因素分别为工作记忆(熟悉客体的工作记忆、新客体的工作记忆)、电极位置(Fpz, Fz, Fcz, Cz, Pz). 方差分析的 P 值采用 Greenhouse Geisser 法校正, 脑电地形图由 64 导数据得出.

2 结果

2.1 行为数据

在追逐新靶和熟悉靶条件下 3 种测验图片的反应时和正确率见表 1. 使用两因素重复测量方差分析, 两因素分别为靶、测验图片. 统计结果显示, 反应时上不存在显著差异, 靶的主效应、测验图片的主效应均不显著, 靶与测验图片的交互作用不显著; 在正确率上, 靶的主效应不显著, 测验图片的主效应显著 ($F(2,28) = 57.337, P < 0.001$), 靶与新分心物、靶与熟悉分心物有显著差异 ($P_s < 0.05$); 新分心物、熟悉分心物没有显著差异, 新靶、熟悉靶的差异不显著.

2.2 ERPs 结果

() 靶与分心物的 ERPs. 图 2 显示, 在两种靶条件(新靶和熟悉靶)下, 靶与新分心物、熟悉分心物均诱发了 P300 成分, 在中央区-顶区达到峰值. 靶和分心物从 150 ms 左右开始分离, 延迟到 600 ms 左右. 靶比分心物的波形更正.

图 3 显示, 新靶与熟悉靶均诱发 P300 成分, 且在顶区达到峰值, 新靶波形比熟悉靶更正(图 3(a)). 与

图 2 靶和分心物的 ERPs 波形

(a) 熟悉靶条件下靶、新分心物、熟悉分心物的波形; (b) 新靶条件下靶、新分心物、熟悉分心物的波形

熟悉靶相比, 新靶的 P300 成分由两部分组成: P3a (潜伏期 296 ms) 和 P3b (潜伏期 458 ms), 在额区和中央区最明显. 从地形图上观察(图 3(b)), 新靶、熟悉靶的差异主要发生在额区和中央区.

图 4 显示, 新分心物、熟悉分心物的波形相似并且走向一致, 两个分心物都诱发 P300 成分并在脑区后部的振幅最大, 新分心物比熟悉分心物更负(图 4(a)). 在 150~350 ms, 两者差异主要体现在额区, 在 350~550 ms 则体现在顶、枕区(图 4(b)).

() 工作记忆的 ERPs. 本实验中工作记忆的测量采用靶 ERPs 减去分心物 ERPs 的方法, 体现了被试对靶的保持、选择和对分心物的排除. 用新靶减新分心物获得新客体的工作记忆 ERPs(以下简称新工作记忆), 用熟悉靶减熟悉分心物获得熟悉客体的工作记忆 ERPs(以下简称旧工作记忆).

从 ERPs 波形观察(图 5(a)), 新、旧工作记忆均诱发了潜伏期 350 ms 左右的一个晚正成分, 新工作记

表 1 靶与分心物的反应时和正确率^{a)}

		靶	新分心物	熟悉分心物
平均反应时/ms	新靶条件	436 (16.7)	443 (13.24)	440 (14.47)
	熟悉靶条件	442 (17.3)	441 (3.25)	435 (13.52)
正确率 (%)	新靶条件	91 (1.4)	99 (0)	98 (1)
	熟悉靶条件	87 (2)	96 (1.4)	97 (1.7)

a) 圆括号内数字为标准误差

图 3 靶图

(a) 新靶和熟悉靶的 ERPs 波形; (b) 新靶和熟悉靶的差异波地形图

忆比旧工作记忆更正, 前者潜伏期(328 ms)早于后者(358 ms). 观察脑地形图(图 5(b)), 新工作记忆明显在 250~350 ms 额区活动更强, 旧工作记忆在 350~450 ms 中央区活动更强.

2.3 ERPs 数据的统计分析

采用三因素重复测量方差分析对 ERPs 数据进行分析, 三因素分别为靶(新靶和熟悉靶)、测验图片(靶、熟悉分心物、新分心物)、电极位置(Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz), 分析时程为 150~350 和 350~550 ms. 结果显示, 在 150~350 ms 时, 靶 $\times$ 测验图片 $\times$ 电极位置的交互作用显著($F(8,112) = 3.016, P < 0.01$); 简单效应检验表明, 3 种测验图片在 Fpz, Fz, Cz, Pz 有显著差异($P_s < 0.001$), 靶显著正于分心物, 熟悉分心物显著正于新分心物(图 2). 两因素重复测量方差分析^[15]显示, 靶(新靶、熟悉靶) $\times$ 电极位置(Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz)交互作用显著($F(4,56) = 3.016, P < 0.05$), 简单效应分析发现两个靶仅在 Fpz 达到边缘显著($P = 0.052$, 图 3). 对分心物(新分心物、熟悉分心物)和电极位置(Fpz, Fz,

图 4 分心物图

(a) 新分心物和熟悉分心物的 ERPs 波形; (b) 新分心物和熟悉分心物的差异波地形图

Cz, Pz, Oz) 的两因素重复测量方差分析结果显示, 分心物的主效应显著($F(1,14) = 9.835, P < 0.01$), 分心物 $\times$ 电极位置的交互作用显著($F(4,56) = 3.505, P < 0.05$), 并在 Fpz, Fz, Cz 熟悉分心物显著正于新分心物($P_s < 0.05$, 图 4).

在 350~550 ms, 同样的三因素重复测量方差分析结果显示, 靶 $\times$ 测验图片 $\times$ 电极位置的交互作用显著($F(8,112) = 2.788, P < 0.01$), 简单效应分析表明, 熟悉靶与两种分心物在 Fz, Cz, Pz, Oz 有显著差异($P_s < 0.05$), 熟悉靶显著正于分心物, 熟悉分心物显著正于新分心物; 新靶与两种分心物在所有电极位置上有显著差异($P_s < 0.05$), 新靶更正于分心物, 熟悉分心物更正于新分心物(图 2). 两因素重复测量方差分析结果显示, 靶(新靶、熟悉靶) $\times$ 电极位置(Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz)的交互作用显著($F(4,56) = 4.498, P < 0.01$), 简单效应检验表明, 仅在 Fpz, Fz 新靶显著正于熟悉靶($P_s < 0.05$, 图 3). 同样的两因素重复测量方差分析结果揭示, 分心物(新分心物、熟悉分心物) $\times$ 电极位置(Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz)交互作用显著($F(4,56) = 4.516, P < 0.01$), 且在 Pz, Oz 熟悉分心物显著更正于新分心物($P_s < 0.05$, 图 4).

图5 工作记忆图

(a) 新工作记忆和旧工作记忆的 ERPs 波形; (b) 两种工作记忆的地形图

对工作记忆的分析使用了两因素重复测量方差分析, 两因素为工作记忆(新工作记忆、旧工作记忆)、电极位置(Fpz, Fz, Cz, Pz, Oz), 分析时程为 250~350 ms。结果显示, 新、旧工作记忆的主效应显著($F(1,14) = 19.791, P < 0.001$), 工作记忆 $\times$ 电极位置的交互作用显著($F(4,56) = 9.587, P < 0.001$), 在额区和中央区(Fpz, Fz, Cz)新工作记忆显著更正于旧工作记忆($P_s < 0.01$, 图 5)。

3 讨论

3.1 儿童客体工作记忆

本实验采用类似于“delayed-matching-to-sample”

任务范式探讨了儿童的客体工作记忆神经机制的时空特性, 与以往研究不同, 本实验在工作记忆的测量上提出“靶”ERPs 减去“分心物”ERPs 的方法, 该方法集中体现了工作记忆的核心概念, 即被试根据要求对靶和分心物进行识别时必须始终在头脑中始终保持“靶”刺激, 且对靶刺激进行选择反应的同时, 不断排除新分心物和熟悉分心物的干扰。

与以往成人研究结论^[16~18]一致, 本实验结果显示儿童的工作记忆加工主要发生在额区和中央区, 对于以往记忆贮存中的熟悉客体和当前呈现的新客体, 大脑前部区域都是工作记忆的关键区域。具体地, 当新客体或熟悉客体被激活进入工作记忆空间时,

其加工活动均发生在额区和中央区. 尽管如此, 儿童对新客体和熟悉客体的工作记忆在时程和脑区分布上存在明显差别, 新工作记忆在 250~350 ms 额区活动更强, 旧工作记忆在 350~450 ms 中央区激活更强. 换句话说, 相比熟悉客体, 新客体潜伏期提前, 且在前额激活程度更大, 熟悉客体的激活则向大脑中央区转移.

在本研究方法下, 儿童工作记忆的 ERPs 呈现出 200~600 ms 左右的一个正波成分, 该结果与已有某些工作记忆研究结论^[19-23]类似. 尽管与工作记忆相关的波形走向仍有争论, 但多数研究认为工作记忆和正波有关^[19-23]. Mecklinger 和 Muler^[19]发现, 客体和空间信息在学习编码阶段均诱发了 P300 成分以及慢波成分. 与此类似, Ilan 和 Smith 等人^[16]报告空间 n-back 任务诱发了 P200 和 P300 成分. Gevins 等人^[21]则采用 n-back 任务发现, 右半球顶叶部位出现正向慢波. 其他研究者^[20,22-23]采用不同的记忆范式均揭示出工作记忆与正走向的波形有关, 且主要在额区、顶-中央区. 本实验结果也为上述结论提供了支持.

此外, 与新工作记忆相比, 旧工作记忆的正波振幅较小, 新客体诱发了更强的神经反应. 此现象可能与注意资源分配有关, 对工作记忆 P300 成分的研究^[24]表明, 偶尔呈现的事件比经常呈现的事件会引发更大的振幅反应. 另外, 本实验中新客体潜伏期比熟悉客体提前, 但是两者潜伏期差异没有成人¹⁾明显, 可能说明儿童对新客体和熟悉客体的资源分配和记忆刷新的速度都较快. 另外, 也可能说明先前学习对儿童工作记忆的影响较小.

3.2 在追踪新靶和熟悉靶的工作记忆条件下儿童对靶和分心物的加工

儿童行为数据没有显示靶和分心物的反应时具有显著差异, 但 ERPs 结果则揭示靶与分心物在加工时间进程上不同. 从波形观察, 靶与分心物在 150~600 ms 左右呈现分离状态. 分心物在 150 ms 后显示出典型的“新/旧效应”, 熟悉分心物的波形更正. 脑地形图显示该“新/旧效应”分为两部分: 150~350 ms 显示额区“新/旧效应”, 350~550 ms 显示大脑后部区域的“新/旧效应”. 其他研究^[5,6]发现, 新/旧效应通常在额区和(或)顶区, 时程为 300~800 ms, 本实验的新/旧效应虽在潜伏期上有所提前, 但脑区分布与上述

研究结果一致. 本实验一个特别的发现是, 靶的“新/旧效应”中, 新靶的波形更正, 且时程上比分心物有所延迟, 并始终体现在大脑前部区域. 显然, 波形图和脑地形图均表明, 靶与分心物的“新/旧效应”完全不同. 在我们以同样任务范式分别使用图片材料和字词材料对年轻人的研究均得到相同结果.

典型的“新/旧效应”是指测试阶段重复出现的旧刺激所诱发的波形变化, 旧刺激会诱发更正的波形. 本实验中分心物“新/旧效应”印证了上述观点, 而靶“新/旧效应”的波形则相反, 新靶诱发的波形更正. 我们认为该差异的产生可能源于实验任务范式的差异, 一般地, 典型的“新/旧效应”产生于外显再认任务中, 而本实验使用了工作记忆任务范式, 因此靶的“新/旧效应”具有内隐性质. 另外, 典型的“新/旧效应”产生于同一个任务序列中, 正如本研究中分心物“新/旧效应”, 而“靶”新/旧效应则不同, 新靶和熟悉靶分别呈现于两个实验序列中, 追逐新靶可能需要更多的注意资源, 因此显示出新靶波形更正的现象. 最后, 我们认为个体在追逐目标并同时排除熟悉的与陌生的非目标时, 记忆加工的两类 ERPs 新/旧效应可能具有不同的神经机制特征. 使用相同的实验范式, 姜扬等人^[13]fMRI 实验结果也证实, 熟悉靶比熟悉分心物诱发了更强的额区活动. 本实验用 ERPs 技术不但验证了其结果, 且进一步发现额区也是区分新客体和熟悉客体的重要区域.

与某些研究结论一致^[25], 本实验中靶与分心物的 P300 振幅均在顶区最大, 且靶振幅更大. Courchesne^[26]采用改编后的 oddball 范式, 呈现两个概率不同的刺激, 发现对容易再认的小概率“非靶”视觉分心物(注意不是新异刺激)诱发了中央区/顶区最大振幅的 P300 成分. 该实验中的小概率“非靶”分心物类似于本研究中中小概率“靶”刺激, 因此本实验中“靶”诱发顶区振幅最大 P300 的结果与其结论一致. 另有研究^[27]认为, 靶和分心物的 P300 受到记忆范式影响, 刺激间的关系以及刺激内容都会影响 P300 成分. Katayama 和 Polich^[27]使用三刺激 oddball 范式探讨了任务难度对 P300 成分的影响. 他们发现, 当靶和标准刺激容易识别且均与分心物有很大区别时, 靶 P300 振幅比分心物更大, 且 P300 两个成分均在顶区最大. 反之, 靶和标准刺激的识别比较困难且它们与

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2006-51-10-1182>

1) Guo C Y, Lawson A, Zhang Q, et al. Evoked Potentials of New and Studied Objects during Working Memory

分心物差别很大时,分心物诱发的P300在额区振幅更大.本实验也得出了与上述研究一致的结果,本研究中的靶与两种分心物在呈现概率上相同(各占三分之一),且靶与分心物的识别比较容易,因此,在这个意义上能够解释靶与分心物的P3b成分在顶区振幅最大的结果.

令人感兴趣的是,儿童对新靶P300显示出P3a和P3b两个亚成分,但是对已学习过的重复出现的熟悉靶,则直接进入了与记忆相关的P3b加工阶段,该发现印证了其他研究结论.一些研究^[28,29]指出,P3a和P3b可以由靶、新异事物等各种刺激引起,并可存在于同一个波形中;P3a呈额区-中央区分布,P3b则定位于后部脑区,P3a的潜伏期早于P3b.许多研究^[28,30-32]认为,额区P3a反映了与定向反射有关的加工,反映了大脑觉察偏差事件后的积极加工过程.当刺激“新异”时,大脑后部和前部区域均被激活,当刺激不再“新异”时,额叶激活消失,而后部活动仍然保持.根据Marinkovic等人^[28]的研究显示,重复刺激可能跨过“新异定向”的P3a阶段,直接由P3b的事件整合网络进行加工.Courchesne等人^[30]也发现重复的信号刺激生成了潜伏期较晚的P3b成分.在P3a成分的年龄发展研究中,Fjell和Walhovd^[31]发现P3a与年龄具有中等相关,P3a似乎比P3b更容易随着年龄而消退.在脑区分布上,P3b显示随年龄增长从大脑后部向前部移动,年长被试的P3b在脑区分布范围更均匀.对P3a成分,尽管有研究^[32]观察到年轻人比老年人表现出更多的额区定位,但P3a在脑区定位上是否具有年龄效应还需其他研究的证实.

与先前研究不同的是,在本实验的工作记忆范式下,儿童对新靶表现出P3a成分,在我们采用相同范式进行的成人研究¹⁾中则没有观察到该成分,此结果是否说明儿童工作记忆在神经加工机制上与成人具有不同特征,对此还需进一步探讨.此外,与成人相比¹⁾,儿童P3b成分明显更多地定位于后部脑区,支持了其他研究中发现P3b随年龄增长向大脑前部扩展的结论^[31,33].

综上所述,儿童客体工作记忆的ERPs波形与正波有关,对比以往记忆中贮存的熟悉客体与当前呈现的新客体,两者工作记忆在脑区分布上没有显著差异,大脑前部尤其是额区是工作记忆过程的关键

区域.然而,由于熟悉客体与新客体需求的注意资源不同,两者在加工强度和时间进程上仍有明显区别.而且,在赋予不同工作记忆任务时,儿童对靶和分心物的加工不同,靶的ERPs波形更正;靶(新靶、熟悉靶)和分心物(熟悉分心物、新分心物)均出现“新/旧效应”,但是两者的“新/旧效应”具有显著不同的神经机制特征.相比熟悉靶,新靶诱发了P3a成分.上述实验结果揭示了儿童工作记忆神经机制的时空特征,并说明随着大脑老化参与工作记忆的神经机制可能会发生变化.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号:30170322,30570603)、国家攀登计划项目(批准号:95-专-09)、高等学校博士学科点专项科研基金(批准号:20040028001)、北京市重点实验室首都师范大学学习与认知实验室及北京市属市管高校人才强教计划资助项目.

参 考 文 献

- 1 Baddeley A D. Working memory. *Science*, 1992, 225: 556—559
- 2 Gathercole S. The development of memory. *J Child Psychol Psychiatr*, 1998, 39(1): 3—27[DOI]
- 3 Casey B J, Cohen J D, Jezzard P, et al. Activation of prefrontal cortex in children during a nonspatial working memory task with functional MRI. *NeuroImage*, 1995, 2: 221—229[DOI]
- 4 Thomas K M, King S W, Franzen P L, et al. A developmental functional MRI study of spatial working memory. *NeuroImage*, 1999, 10: 327—338[DOI]
- 5 Cycowicz Y M, Friedman D, Snodgrass J G, et al. A developmental trajectory in implicit memory is revealed by picture fragment completion. *Memory*, 2000b, 8(1): 1935
- 6 Itier R J, Taylor M J. Face recognition memory and configural processing: A developmental ERP study using upright, inverted, and contrast-reversed faces. *J Cogn Neurosci*, 2004, 16(3): 487—502[DOI]
- 7 Wilding E L, Rugg M D. An event-related potential study of recognition memory with and without retrieval of source. *Brain*, 1996, 119: 889—906
- 8 Petten V, Senkfor A J, Newberg W M. Memory for drawing in locations: Spatial source memory and event-related potentials. *Psychophysiology*, 2000, 37: 551—564[DOI]
- 9 Johansson M, Stenberg G, Lindgren M, et al. Memory for perceived and imagined pictures—an event-related potential study. *Neuropsychologia*, 2002, 40: 986—1002[DOI]
- 10 Cycowicz Y M, Friedman D, Rothstein M. An ERP developmental

1) 同 1187 页脚注

- study of repetition priming by auditory novel stimuli. *Psychophysiology*, 1996, 33(6): 680—690.
- 11 Marshall D H, Drummey A, Fox N A, et al. An event-related potential study of item recognition memory in children and adults. *J Cogn Dev*, 2002, 3(2): 201—224[DOI]
- 12 Cycowicz Y M. Memory development and event-related brain potentials in children. *Biol Psychol*, 2000, 54: 145—174[DOI]
- 13 Jiang Y, Haxby J V, Martin A, et al. Complementary neural mechanisms for tracking items in human working memory. *Science*, 2000, 287 (28): 643—646[DOI]
- 14 Snodgrass J G, Vanderwart M. A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *J Exp Psychol*, 1980, 6: 174—215
- 15 Keppel G. *Design and Analysis: A Researcher's Handbook*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1991. 445—459
- 16 Ilan A B, Smith M E, Gevins A. Effects of marijuana on neurophysiological signals of working and episodic memory. *Psychoph*, 2004, 176(2): 214[DOI]
- 17 Farber D A, Beteleva T G, Ignat'eva I S. Functional organization of the brain during the operation of working memory. *Hum Physiol*, 2004, 30(2): 129—136[DOI]
- 18 Fletcher P C, Henson R N. Frontal lobes and human memory: Insights from functional neuroimaging. *Brain*, 2001, 124: 849—881 [DOI]
- 19 Mecklinger A, Muller N. Dissociations in the processing of “what” and “where” information in working memory: An event-related potential analysis. *J Cogn Neurosci*, 1996, 8(5): 453—473
- 20 Kiss I, Pizio C, Francois A, et al. Central executive function in working memory: Event-related brain potential studies. *Cogn Brain Res*, 1998, 6: 235—247[DOI]
- 21 Gevins A, Smith M E, Le J, et al. High resolution evoked potential imaging of the cortical dynamics of human working memory. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1996, 98: 327—348[DOI]
- 22 Kusak G, Grune K, Hagendorf H, et al. Updating of working memory in a running memory task: An event-related potential study. *Int J Psychophysiol*, 2000, 39: 51—65[DOI]
- 23 Bosch V, Mecklinger A, Friederici A D. Slow cortical potentials during the retention of object, spatial, and verbal information. *Cogn Brain Res*, 2001, 10: 219—237[DOI]
- 24 Cycowicz Y M, Friedman D. Effect of sound familiarity on the event-related potentials elicited by novel environmental sounds. *Brain Cogn*, 1998, 36(1): 30—51[DOI]
- 25 Polich J. Neuropsychology of P3a and P3b: A theoretical overview. In: Moore N C, Arikan K, eds. *Brainwaves and Mind: Recent Development*. Wheaton: Kjellberg Inc, 2004
- 26 Courchesne E. Changes in P3 waves with event repetition: Long-term effects on scalp distribution and amplitude. *Electroen Clin Neuro*, 1978, 45: 754—766
- 27 Katayama J, Polich J. Stimulus context determines P3a and P3b. *Psychophysiology*, 1998, 35: 23—33[DOI]
- 28 Marinkovic K, Halgren E, Maltzman I. Arousal-related p3a to novel auditory stimuli is abolished by a moderately low alcohol dose. *Alcohol Alcoholism*, 2001, 36(6): 529—539[DOI]
- 29 Friedman D, Cycowicz Y M, Gaeta H. The novelty P3: An event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neurosci Biobehav Reviews*, 2001, 25: 355—373[DOI]
- 30 Courchesne E, Hillyard S A, Galambos R. Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroen Clin Neuro*, 1975, 39: 131—143
- 31 Fjell A M, Walhovd K B. Life-span changes in P3a. *Psychophysiology*, 2004, 41: 575—587[DOI]
- 32 Fabiani M, Friedman D. Changes in brain activity patterns in aging: The novelty oddball. *Psychophysiology*, 1995, 32(6): 579—594
- 33 Bahramali H, Gordon E, Lim C L, et al. Evoked related potentials associated with and without an orienting reflex. *Neuroreport*, 1997, 8: 2665—2669

(2006-01-26 收稿, 2006-04-19 接受)