

· 博士论坛(Doctor Forum) ·

背景介绍:

人类的认知功能是否可以通过后天的训练得到提升, 这个问题一直受到心理学研究者的关注。赵鑫博士的论文《工作记忆刷新功能的可塑性》尝试以工作记忆中央执行的核心成分——刷新功能训练入手, 以认知发展不同阶段的人群(儿童、成年人和老年人)为训练对象, 并首次结合 ERPs 技术, 探讨了工作记忆刷新的可塑性及其神经机制。研究结果对于认知功能可塑性的机制解释具有一定的启示, 对于儿童智力开发和老年人认知功能衰退的干预有一定的实践指导价值。赵鑫博士的学位论文曾获教育部博士研究生学术新人奖以及联校教育社科医学研究论文奖, 系列研究已发表于 *Chinese Science Bulletin*, *PLOS ONE*, *Applied Cognitive Psychology* 等国内外核心期刊中。其中, 论文《Effect of updating training on fluid intelligence in children》入选中国科协科技期刊与新闻媒体见面会重点推荐论文, 《科学时报》以“活动记忆让孩子变得更聪明”为题, 在 2011 年 7 月 7 日 A1 头版要闻报道了此项研究, 新华网、搜狐网、腾讯网、科学网、中国日报等媒体对研究进行了相关报道。

工作记忆刷新功能的可塑性*

赵 鑫¹ 周仁来^{2,3}⁽¹⁾ 西北师范大学心理学院, 行为康复训练研究中心, 兰州, 730070)⁽²⁾ 北京师范大学心理学院, 应用实验心理北京市重点实验室, 北京 100875)⁽³⁾ 脑与学习协同创新中心, 北京 100875)

摘 要 从工作记忆刷新功能的训练入手, 以不同人群为研究对象, 采用活动记忆任务, 从行为层面和认知神经层面探讨工作记忆刷新功能的可塑性。结果发现, 工作记忆刷新功能具有可塑性。具体表现为, 通过刷新功能训练, 个体在工作记忆刷新任务上的成绩提高。工作记忆刷新功能训练使得个体对刺激的识别能力增强, 对无关信息的抑制能力提高, 进而促使工作记忆中的更新能力得到提升。通过工作记忆刷新训练可以提高个体其它认知功能, 但是, 相对于认知能力稳定以及衰退的个体, 这种迁移效应在工作记忆能力发展个体中的表现更为明显。

关键词 工作记忆; 刷新; 训练; 可塑性

分类号 B842

1 问题的提出

工作记忆是人类高级认知活动的核心, 是学

习、推理、问题解决和智力活动的重要成分 (Ackerman, Beier, & Boyle, 2005; Alloway, 2006, 2007; Capon, Handley, & Dennis, 2003; Carretti, Borella, Cornoldi, & DeBeni, 2009; Conway, Kane, & Engle, 2003; Copeland & Radvansky, 2004; Martinussen, Hayden, Hogg, Johnson, & Tannock, 2005; Schecklmann et al., 2010; Unsworth & Engle, 2005; Unsworth, Redick, Heitz, Broadway, & Engle, 2009; Yuan, Steedle, Shavelson, Alonzo, & Oppezzo, 2006; 郭春彦, 2007; 赵鑫, 付丽, 周仁来, 2011;

收稿日期: 2014-05-27

* 国家自然科学基金青年项目(31300838), 教育部人文社会科学研究青年项目(13YJC190032), 认知神经科学与学习国家重点实验室开放课题(CNLYB1317)和甘肃省高等学校科研项目(2013A-002)部分资助。

通讯作者: 周仁来, E-mail: rlzhou@bnu.edu.cn

赵鑫, 张光楠, 周仁来, 2009; 赵鑫, 周仁来, 刘睿哲, 2012; 赵鑫, 周仁来, 2010a; 赵鑫, 周仁来, 2010b; 周仁来, 赵鑫, 2010a)。近年来, 研究者发现, 工作记忆能力可以通过训练得到提升(Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002; Klingberg, 2010; McNab et al., 2009; Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004; Westerberg & Klingberg, 2007; 赵鑫, 周仁来, 2010b; 赵鑫, 周仁来, 2014; 周仁来, 赵鑫, 2010a)。近期, 国际重要杂志《Science》, 《Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America》, 《Nature Neuroscience》中的文献都阐明了工作记忆能力的可塑性, 工作记忆训练的研究对原有的认知理论以及相关理论模型提出了挑战, 为工作记忆训练运用于教育、临床治疗等领域提供了实证支持, 也为工作记忆的应用研究开辟了新的方向(赵鑫, 周仁来, 2014)。

但是, 工作记忆作为人类高级认知活动的核心, 具有相对复杂的结构(Baddeley, 2001, 2003, 2008, 2010; Unsworth & Engle, 2008; Unsworth et al., 2009; 赵鑫, 周仁来, 2011; 周仁来, 赵鑫, 2010b), 在之前的工作记忆训练研究中, 既涉及到了工作记忆的存储功能, 又涉及到工作记忆的中央执行功能。研究者使用复述策略对工作记忆进行训练(Loomes, Rasmussen, Pei, Manji, & Andrew, 2008), 只是针对工作记忆的存储功能进行了相应的训练, 是针对工作记忆的成分之一短时记忆的策略训练; 研究者(Jaeggi et al., 2008; Klingberg et al., 2002)采用工作记忆广度任务和N-back任务作为训练任务对工作记忆能力进行训练, 这些任务被认为是具有代表性的工作记忆任务, 其中既包含了短时记忆成分又包含了中央执行成分(Unsworth & Engle, 2008; Unsworth et al., 2009)。训练使得个体工作记忆能力以及高级认知功能得到提升, 是因为扩大了存储容量还是因为改善了中央执行功能并没有被很好的区分开来, 所获结论对于理解工作记忆训练的实质存在着混淆。

短时记忆过程本身并不能有效解释高级认知能力的变异(赵鑫, 周仁来, 2010a)。无论是工作记忆的多成分模型还是注意控制模型都表明, 工作记忆的中央执行成分在工作记忆的核心(Baddeley, 2001, 2003, 2008, 2010; Unsworth et al., 2009)。研究表明, 工作记忆的个体差异主要是由

中央执行功能的差异所造成而非存储功能(Engle, 2010); 其次, 工作记忆对高级认知活动的预测作用主要来自于中央执行功能而非存储功能(Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002; Conway et al., 2003; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999); 工作记忆功能的衰退主要是源于中央执行功能而非存储功能(Rypma & D'Esposito, 1999); 工作记忆与其它复杂认知活动共享脑机制, 被证明主要与中央执行功能有关而非存储功能(Collette & Vander Linden, 2002; Jung & Haier, 2007; Kane & Engle, 2002; Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005; Postle, Berger, & D'Esposito, 1999)。所以, 通过工作记忆任务训练使得工作记忆能力得到提升以及促进高级认知功能提高, 其实质应该是认知功能和认知神经的可塑性, 这种可塑性应该体现为工作记忆中央执行功能的提升, 而非简单的记忆策略改变。工作记忆的中央执行成分主要负责工作记忆中的控制性加工, 其功能主要包括工作记忆中各子系统功能的协调、对编码和提取策略的控制、操纵注意管理系统以及从长时记忆中提取信息(Baddeley, 1992)。中央执行功能无疑是工作记忆中最高级的成分, 同时又是工作记忆中最复杂的组成部分。作为一种复杂的结构, 中央执行系统一直以来被看做是一个单一的结构, 这导致工作记忆中央执行功能在概念和界定上含糊不清(周仁来, 赵鑫, 2010b)。Miyake 等人(2002)首次通过结构方程建模提出, 转换(Shifting)、刷新(Updating)和抑制(Inhibition)是工作记忆三种相对独立的中央执行功能。在随后的研究中, Friedman 等人(2006)研究发现, 相对于其它中央执行功能, 工作记忆的刷新功能与高级认知活动之间的关系最为密切, 这一点也得到其它研究者的证明(Chen & Li, 2007; Collette & Vander Linden, 2002; Vander Linden, Bredart, & Beerten, 1994)。

刷新是执行功能的重要部分, 指执行功能根据新呈现的信息不断更改工作记忆内容的过程。刷新作为工作记忆的重要中央执行功能, 主要功能是监控输入的信息, 用与当前任务相关较大的新信息来替换与当前任务联系不大的旧信息, 以不断对记忆中的内容进行修正(Collette & Vander Linden, 2002; Kane & Engle, 2002)。跟踪任务(Keep track task)、活动记忆任务(Running memory

task)和 N-back 任务(N-back paradigm)是三种最为常用的刷新功能测量任务(赵鑫, 周仁来, 2011)。其中, 活动记忆任务被认为能够更好的体现刷新功能(Morris & Jones, 1990; Vander Linden et al., 1994; 赵鑫, 周仁来, 2011), 该任务要求被试看一些未知长度的项目串, 然后按照顺序回忆一个指定长度的项目串。活动记忆范式较好的体现了对输入信息的监控, 用当前任务联系较大的新信息来替换与任务无关的旧信息的能力(Morris & Jones, 1990)。因此, 本研究将采用活动记忆任务对工作记忆刷新功能进行训练, 以探清工作记忆训练的实质, 进一步探清工作记忆训练的起效因素, 进一步理解工作记忆在复杂认识活动中的机制, 进一步探究人类认知功能以及认知神经的可塑性。

2 儿童工作记忆刷新功能可塑性

之前的研究发现, 儿童的工作记忆中央执行功能具有一定的可塑性(Klingberg et al., 2002; Thorell, Lindqvist, Bergman Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009; Thorell & Wåhlstedt, 2006), 如 Klingberg 等人在 2002 年的研究中采用了一种新的工作记忆训练任务对 7 名多动症儿童的工作记忆进行了训练, 研究结果显示, 工作记忆训练提高了多动症儿童的工作记忆能力, 缓解了多动症儿童的临床症状。同时, 研究还发现, 工作记忆训练还显著提高了多动症儿童智力测试的成绩(Klingberg et al., 2002)。但是, 之前的研究很难区分认知训练的练习效应对训练结果的影响, 考察刷新功能训练对流体智力的迁移效应为考查儿童刷新功能可塑性, 为训练的评估提供了新的视角。保持与目标相联系的信息并同时加工、寻找新规则、过滤无关信息的能力对于智力测试成绩的提高非常关键(Carpenter, Just, & Shell, 1990), 而这与工作记忆的刷新功能十分相似(Collette & Van der Linden, 2002; Friedman et al., 2006), 工作记忆的刷新功能几乎调节了所有年龄变化所引起的流体智力的变化, 是年龄和流体智力变化的重要中介变量(Chen & Li, 2007)。另外, 一些间接的证据显示, 工作记忆的刷新功能与流体智力的脑机制在前额叶区存在着部分重叠(Kane & Engle, 2002)。这些证据都表明, 通过训练工作记忆提高智力水平, 很有可能与刷新功能

有关。因此, 研究一将采用活动记忆任务对儿童的刷新功能进行训练, 探讨儿童工作记忆刷新功能可塑性, 并以流体智力成绩作为刷新功能可塑性的校标。研究结果显示, 经过 4 周 15 天的活动记忆任务训练, 儿童工作记忆刷新功能得到提升(见图 1 和图 2), 并且儿童的流体智力水平得到了显著的提高(见表 1)。

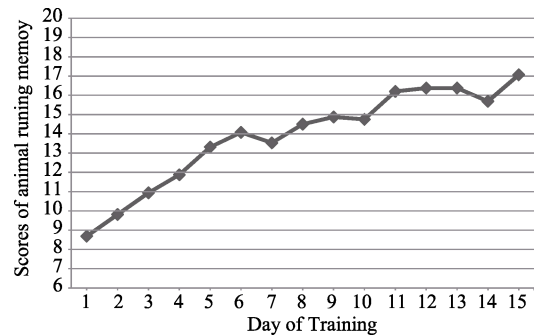


图 1 动物活动记忆任务训练成绩趋势

(资料来源: Zhao, Wang, Liu, & Zhou, 2011)

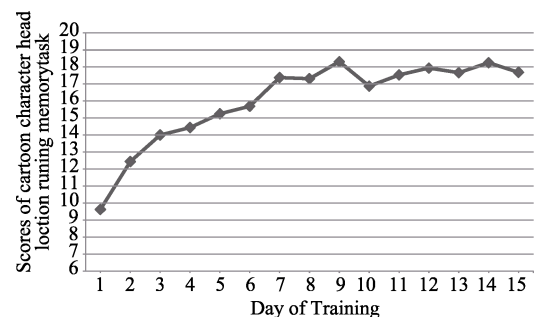


图 2 卡通人物方位活动记忆任务训练成绩趋势

(资料来源: Zhao, Wang, Liu, & Zhou, 2011)

表 1 训练前后训练组与对照组儿童瑞文标准推理测验的成绩及增值分数($M \pm SD$)

	前测	后测	后测-前测
训练组($n=16$)	42.13 $\pm$ 6.12	45.94 $\pm$ 3.45	3.81 $\pm$ 4.59
对照组($n=17$)	40.41 $\pm$ 5.14	41.12 $\pm$ 5.06	0.71 $\pm$ 3.18

资料来源: Zhao, Wang, Liu, & Zhou, 2011

与以往研究相比(Klingberg et al., 2002; Jaeggi et al., 2008), 研究一采用了工作记忆中央执行任务进行训练, 排除了存储因素对训练效果的影响, 证明了儿童工作记忆刷新能力的可塑性, 并且研究证明了儿童工作记忆刷新功能训练效果

可以迁移至流体智力。本研究采用活动记忆任务对儿童工作记忆刷新功能进行了训练,随着训练天数的增加,儿童在训练任务上的得分显著提高,并且,训练后儿童的流体智力水平得到提升。这其中的原因可能在于训练促进了儿童控制性注意水平的发展,通过训练,儿童保持对与目标有关信息的激活,阻止与目标无关信息的能力得到提升,这些能力对于流体智力测试来说至关重要(Carpenter et al., 1990);其次,通过对工作记忆刷新功能的训练,有可能促进了儿童前额叶相关脑区功能的发育,导致儿童刷新功能的提高;再次,McNab 等人研究证明(McNab et al., 2009),对工作记忆进行训练,发现大脑皮层多巴胺 D1 受体密度发生了改变。多巴胺 DI 受体系统的可塑性表明训练也有可能使得儿童前额叶多巴胺 DI 受体密度发生改变。

3 工作记忆刷新训练对大脑活动的影响

在研究一中,我们采用工作记忆中央执行任务进行训练,排除了存储因素对训练效果的影响,证明了工作记忆刷新功能的可塑性以及刷新训练对儿童流体智力的影响。相对于认知能力发展中的个体(儿童),认知能力相对稳定的个体(成年人)的刷新功能是否也具可塑性,将是研究二所探讨的一个问题。另外,之前研究发现,通过工作记忆的训练,与工作记忆相关的脑区,如额中回和额下回(middle and inferior frontal gyrus)的激活显著增强(Olesen et al., 2004; Westerberg & Klingberg, 2007)。McNab 等人(2009)的研究还表明,工作记忆能力的可塑性与大脑皮层多巴胺 D1 受体密度的改变有关。虽然之前的研究证明了工作记忆的训练可以改变相关脑区的激活。但是,大脑的功能与结构并不是一种简单的对应关系,工作记忆所涉及的脑区复杂,工作记忆任务的完成需要不同脑区所组成的神经网络活动共同完成(Collette & Vander Linden, 2002)。对于工作记忆训练的神经机制,很难依靠空间激活模式的不同加以区分,更重要的是,工作记忆的可塑性究竟是发生在哪个阶段?是在感知觉阶段、注意阶段、还是只体现在工作记忆的表征阶段?借助功能性磁共振成像技术(fMRI)和正电子发射断层扫描脑成像技术(PET)等脑成像技术很难解释这个问题。而事件相关电位(ERPs)技术具有较高的时

间分辨率,可以根据时间激活模式的不同辨别各个阶段所发生的变化。因此,研究二将结合 ERPs 技术探讨和考察工作记忆刷新训练对大脑活动影响的神经过程。

研究二以健康成年人为被试,采用自适应活动记忆训练任务(字母活动记忆任务、动物活动记忆任务和方位活动记忆任务),通过双盲对照实验设计,结合 ERPs 技术,探讨了工作记忆刷新功能训练对大脑活动的影响。研究结果显示,通过 20 天的工作记忆刷新任务训练,与对照组相比,训练组在工作记忆 2-back 任务上的反应时显著降低,在完成工作记忆 2-back 任务时,训练组被试顶部的 N160 波峰显著升高,额区的 P200 波峰显著降低,并且顶部的 P300 波幅显著的升高(Zhao, Zhou, & Fu, 2013)。

研究发现,与对照组相比,实验组工作记忆 2-back 任务的成绩显著提高,表现为反应时的显著降低(见表 2)。研究表明,相对于认知功能发展中的儿童,成年人的工作记忆刷新功能也具有一定的可塑性。另外,工作记忆 2-back 任务是典型的工作记忆任务,涉及存储以及多种中央执行成分(Harvey et al., 2004; Owen et al., 2005)。研究通过对工作记忆刷新功能的训练,提高了被试在 2-back 任务上的成绩,这种迁移证明了工作记忆中央执行功能,即刷新功能在工作记忆中的核心作用。

表 2 训练组被试与对照组被试 2-back 任务前-后测正确率与反应时

		前测	后测	后测-前测
训练组 (n=12)	正确率	93.15±5.83	94.08±3.53	0.93±4.65
	反应时	1005.63±266.70	760.93±190.83	-244.70±200.92
对照组 (n=11)	正确率	97.59±2.55	96.15±4.12	-1.44±4.52
	反应时	939.94±218.53	866.09±191.90	-73.85±128.20

资料来源: Zhao, Zhou, & Fu, 2013

更重要的是,本研究结合了具有较高时间分辨率的事件相关电位(ERPs)技术,揭开了工作记忆可塑性的“黑箱”。研究发现,经过 20 天的工作记忆刷新功能训练,训练组被试顶部 P300 的波幅显著升高(见图 3)。P300 被认为是反映工作记忆刷新功能的一个有效指标。背景更新理论(context updating model)认为,当信息出现时,人

脑一方面要对之作出反应, 另一方面要根据它对主体所从事任务的意义大小, 通过将之整合到已有的表征去形成新的表征, 对现有的背景进行不同程度的修正, 以调整应付未来的策略。而当环境连续发生变化时, 背景亦要不断进行修正, 可能就是与这一修正有关的加工过程产生了 P300 (Donchin & Fabiani, 1991)。Donchin 和 Fabiani (1991)在其研究中指出, ERP 中的 P300 成分就是由工作记忆的中央执行系统所引起的, 即对工作记忆内容的更新所引起, 这被认为是关于工作记忆中央执行系统最早的 ERP 研究(陈彩琦, 2004)。同样, Fabiani, Karis 和 Donchin (1990)研究发现, 被试在进行机械记忆的时候会引发 P300 效应, 而被试在使用加工策略进行记忆时没有引发 P300 效应, 研究者认为在机械记忆时需要工作记忆中央执行系统的参与, 而在使用加工策略时并不需要中央执行系统, 所以这为工作记忆中央执行系统与 P300 的关系提供了间接地证据。已有研究表明, 认知能力高的个体工作记忆任务中的 P300 的波幅较高(Gevins & Smith, 2000), 来自认知老化的研究也发现, 老年个体在认知老化的过程中, P300 的波幅伴随降低(McEvoy, Pellouc-

houd, & Smith, 2001)。本研究中发现, 通过训练被试 P300 的波幅显著升高, 表明训练提升了个体的工作记忆表征中的更新功能。

另外, 本研究还发现, 工作记忆的刷新训练效果不仅仅是体现在 P300 波幅的升高。通过工作记忆刷新训练, 被试额区 P200 的峰值降低(见图 4)。在工作记忆任务中, 额区诱发的 P200 成分被认为是反映了个体对无关信息的抑制能力, 对目标刺激注意集中能力(McEvoy et al., 2001)。听觉老化实验中, 标准刺激所诱发的 P200 峰值在老年被试中最大(Friedman, Simpson, & Hamberger, 1993)。另外, 同样是工作记忆老化研究中发现, 老年人在进行工作记忆任务时额区 P200 的峰值要显著的高于青年人(McEvoy et al., 2001)。本研究中发现, 通过训练被试 P200 的峰值降低, 表明工作记忆的刷新训练同时提高了个体对无关信息的抑制能力和对目标刺激注意集中能力。Engle 等人的工作记忆控制性注意模型中指出(Engle, 2002; Kane & Engle, 2002), 控制性注意是一个不受领域限制、有限的进行控制性加工或在面对干扰或分心刺激时将注意中心保持在与任务相关信息上的机制。他认为, 控制性注意能力是工作记

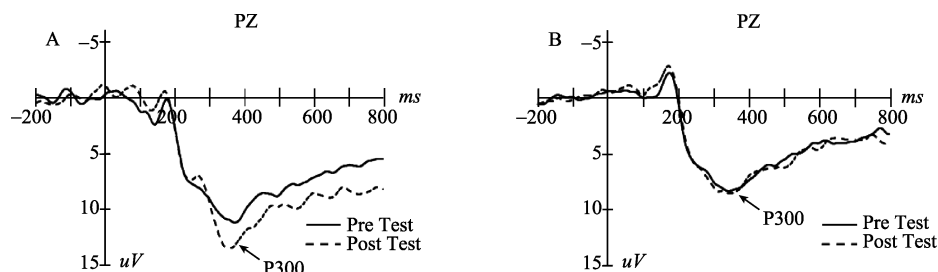


图 3 训练前后实验组与对照组 P300 变化。其中, 图 A 为实验组训练前后 P300 变化, 图 B 为对照组训练前后 P300 变化。
(资料来源: Zhao et al., 2013)

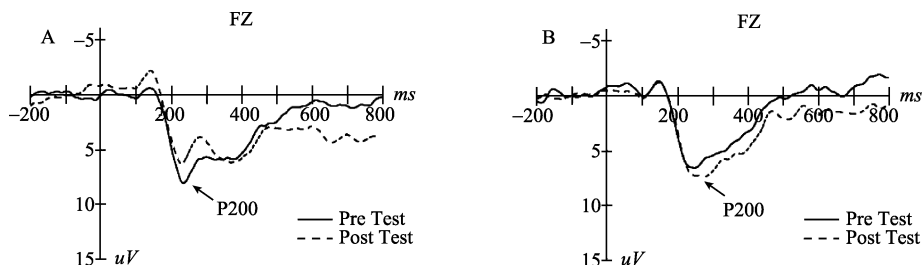


图 4 训练前后实验组与对照组 P200 变化。其中, 图 A 为实验组训练前后 P200 变化, 图 B 为对照组训练前后 P200 变化。
(资料来源: Zhao et al., 2013)

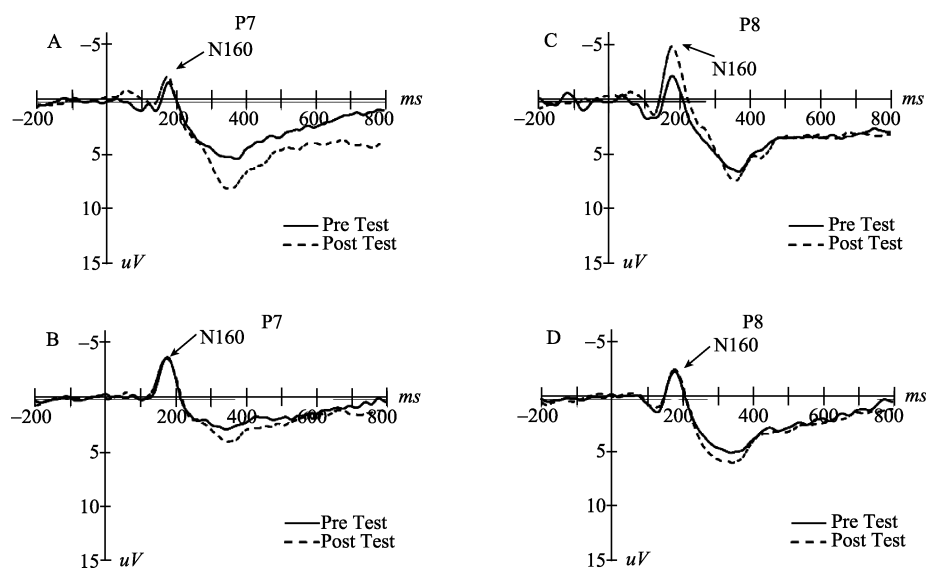


图 5 训练前后实验组与对照组 N160 变化。其中, 图 A 和 C 为实验组训练前后 N160 变化, 图 B 和 D 为对照组训练前后 N160 变化。

(资料来源: Zhao et al., 2013)

忆能力最基本的决定因素(Engle, 2010)。而工作记忆刷新功能主要是监控输入的信息, 其主要的功能就是抑制与任务无关的信息, 并用与当前任务相关较大的新信息来替换, 以不断对记忆中的内容进行修正(Collette & Vander Linden, 2002; Kane & Engle, 2002)。所以, 额区 P200 的峰值降低说明刷新功能的训练提升了工作记忆中最为核心的因素—注意控制。

值得一提的是, 本研究发现, 通过工作记忆刷新训练, 顶区的 N160 峰值升高(见图 5)。N160 成分体现为对视觉信息鉴别区分加工, 其峰值的大小与对目标刺激识别的加工强度和有效度成正比(McEvoy et al., 2001)。通过训练 N160 峰值升高, 表示工作记忆刷新的训练使得个体对目标刺激识别的加工强度和有效度提高。这说明, 工作记忆的训练对认知的影响很有可能是在感知阶段就发生了, 表现为抑制性突触活动减弱, 兴奋性活动增强。

与之前的研究相比(McNab et al., 2009; Olesen et al., 2004; Westerberg & Klingberg, 2007), 本研究同样是证明了工作记忆训练对大脑活动的影响主要是发生在额叶和顶叶。但是, 本研究结合 ERPs 技术, 进一步发现, 通过工作记忆训练, 首先, 在视觉信息鉴别阶段, 个体对目标刺激识

别的有效度提高, 其次表现为对无关信息的抑制能力增强, 进而提高了刷新能力。

4 工作记忆刷新训练对老年人认知功能的影响

之前的研究主要关注成年人(McNab et al., 2009; Jaeggi et al., 2008; Westerberg & Klingberg, 2007; Olesen et al., 2004)和儿童(Klingberg et al., 2002)工作记忆能力的可塑性。只有少数的研究关注老年人工作记忆的可塑性, 如 Li 等人(2008)采用 2-back 任务对 70–80 岁老年人的工作记忆训练发现, 老年人的工作记忆能力也具有一定的可塑性。老年人的工作记忆功能处于衰退期, 对老年人工作记忆的训练是检验工作记忆可塑性的一种重要途径, 也是工作记忆训练效果评估的有机组成部分。我们认为, 老年人工作记忆功能的核心和关键因素在于中央执行功能。首先, 研究者发现, 老年人工作记忆的老化主要来自于中央执行功能的衰退, 而与存储功能无关(Chen & Li, 2007); 其次, 一些间接证据表明, 老年人在主要负责存储功能脑区(腹侧前额叶, VLPFC)的激活与青年人无显著差异, 而是在主要负责中央执行功能脑区(背侧前额叶, DLPFC)上的激活较弱(Rypma & D'Esposito, 1999)。研究发现, 并不是

所有的中央执行功能都出现老化现象,但是,刷新功能出现衰退并对认知老化产生重要影响却得到了研究者一致的认可(Chen & Li, 2007)。基于此,研究三将以 60 岁以上的老年人作为被试,采用自适应活动记忆训练任务,通过双盲对照实验设计,进行老年人刷新功能的训练,探讨了老年人工作记忆刷新功能的可塑性。

研究结果发现,通过 20 天的工作记忆刷新功能训练,老年人在数字刷新任务上的成绩得到显著提高(见表 3),而且这种训练的效果迁移到工作记忆广度任务中,但是,这种迁移效应并未在高级认知功能中出现(见表 4)。

工作记忆作为认知的核心和加工资源是导致认知衰老的一个重要原因(Salthouse, 1994)。之前的研究发现,工作记忆具有可塑性,可以通过认知任务训练提高个体的工作记忆能力(Klingberg, 2010)。而且, Li 等人(2008)的研究证实了处于认知功能衰退期的老年人的工作记忆能力同样是具有可塑性。但是,先前的研究并没有很好的区分了工作记忆存储成分与中央执行成分在老年人工作记忆训练中的起效机制。有研究证明,老年人工作记忆的衰退与中央执行功能有关而与存储功能无关(Chen & Li, 2007)。研究三采用了工作记忆中央执行任务进行训练,排除了存储因素对训练效果的影响,证明了老年人工作记忆刷新功能具有可塑性。首先,通过工作记忆刷新功能的训练,使得老年个体保持对与目标有关信息的激活,阻止与目标无关信息的能力得到提升,这说明老年个体的感知觉和抑制等能力的衰退是具有一定

的可逆性;其次,之前的研究发现(Rypma & D'Esposito, 1999),较青年人而言,老年人在主要负责中央执行功能脑区(背侧前额叶, DLPFC)上的激活较弱,而工作记忆的认知训练可提高相关脑区的激活(McNab et al., 2009; Olesen et al., 2004; Westerberg & Klingberg, 2007)。刷新功能被证明与背侧前额叶有关(Collette & Vander Linden, 2002),老年人刷新功能的训练很有可能使得相关脑区活动增强,这种认知衰退的可逆性也有可能是由于大脑可塑性造成;再次,老年人认知功能的衰退是由于神经递质浓度的降低以及受体数量的减少,包括多巴胺递质的减少(Raz, 2000),工作记忆的训练可以使得大脑皮层多巴胺受体密度发生改变(McNab et al., 2009),老年人刷新功能的可逆性还可能与刷新能力训练增强前额叶多巴胺递质密度有关。本研究还发现,老年人工作记忆刷新功能训练效果迁移到了工作记忆广度任务中。本研究还发现,老年人工作记忆刷新功能训练效果迁移到了工作记忆广度任务中。工作记忆广度任务被认为是具有代表性的工作记忆任务,其中既包含了存储成分又包含了中央执行成分(Conway et al., 2005; Owen et al., 2005)。通过刷新任务的训练使得老年人工作记忆能力提高,说明刷新功能在工作记忆的老化中起重要作用。

研究三并没有发现工作记忆刷新功能的训练对老年人推理能力产生迁移效应。已有研究发现,刷新功能几乎调节了所有年龄变化所引起的流体智力的变化,是年龄和流体智力变化的重要中介变量(Chen & Li, 2007),我们之前的研究也证明,

表 3 训练前、后训练组与对照组老年人在数字刷新任务测验的成绩及增值分数($M \pm SD$)

	刷新简单任务正确率			刷新困难任务正确率		
	前测	后测	增值	前测	后测	增值
训练组($n=15$)	0.63 $\pm$ 0.14	0.84 $\pm$ 0.11	0.21 $\pm$ 0.13	0.51 $\pm$ 0.15	0.81 $\pm$ 0.17	0.30 $\pm$ 0.18
对照组($n=14$)	0.49 $\pm$ 0.33	0.54 $\pm$ 0.31	0.05 $\pm$ 0.10	0.42 $\pm$ 0.34	0.42 $\pm$ 0.31	0.00 $\pm$ 0.10

资料来源: Zhao, Zhou, Fu, & Maes, 2014

表 4 训练前、后训练组与对照组老年人在数字广度和推理任务测验的成绩及增值分数($M \pm SD$)

	数字广度			推理任务		
	前测	后测	增值	前测	后测	增值
训练组($n=15$)	13.33 $\pm$ 1.11	14.73 $\pm$ 2.05	1.40 $\pm$ 1.64	5.40 $\pm$ 1.59	5.47 $\pm$ 1.77	0.07 $\pm$ 1.53
对照组($n=14$)	12.64 $\pm$ 1.34	12.50 $\pm$ 1.40	-0.14 $\pm$ 0.95	4.64 $\pm$ 1.39	4.57 $\pm$ 1.07	-0.07 $\pm$ 1.44

资料来源: Zhao et al., 2014

通过工作记忆刷新能力的训练,儿童的流体智力得到显著提高。但是,在老年被试中却没有发现这种现象,这说明工作记忆刷新功能训练对高级认知功能的影响,并不是一种“全”或“无”的现象,这种影响在个体认知功能发展期与衰退期出现分离情况:处于认知功能发展中的个体(儿童)刷新功能的训练可以促进正在发展中的高级认知功能的提高,而处于认知功能衰退期的个体(老年人)刷新功能的训练未能恢复正在衰退中的高级认知功能。

5 小结与展望

本研究采用活动记忆任务,通过双盲对照实验设计,以儿童、成年人以及老年人作为被试,探讨了工作记忆刷新功能的可塑性。研究发现,通过工作记忆刷新能力的训练,儿童的刷新能力得到显著提升,并且儿童的流体智力得到显著提高;通过工作记忆刷新能力的训练,成年被试在工作记忆任务上的成绩显著提高,在进行工作记忆任务时,顶部的 N160 波峰显著升高,额区的 P200 波峰显著降低,并且顶部的 P300 波幅显著的升高;通过工作记忆刷新能力的训练,老年人在刷新任务和工作记忆广度任务上的成绩得到显著提高,但是在推理任务上的成绩并未得到提升。研究结果表明,工作记忆刷新功能具有一定可塑性。具体表现为,通过刷新功能训练,个体在刷新任务和工作记忆任务上的成绩提高。工作记忆刷新功能训练使得个体对刺激的识别能力增强,对无关信息的抑制能力提高,进而促使工作记忆中的更新能力得到提升。通过工作记忆刷新训练可以提高个体其它认知功能,但是,相对于工作记忆能力发展稳定的个体和衰退的个体,这种迁移效应在工作记忆能力发展个体中的表现更为明显。

本研究以不同人群为被试,探讨了工作记忆刷新功能的可塑性。虽然研究证明了工作记忆刷新功能具有可塑性,但是,这种可塑性是一种短期的改变还是一种长期的维持,这对于探索认知功能的可塑性具有重要的意义,需要今后更进一步的探讨;另外,本研究发现,不同人群的认知可塑性存在差异,如相对于认知功能处于发展期的个体,处于认知功能稳定期和衰退期个体认知功能可塑性具有一定的局限性,那么,什么样的人群认知可塑性强,什么样的人群可塑性弱?认

知缺陷个体是否也具有认知可塑性?这也是今后该领域需要探讨的一个重要问题;最后,在研究中,我们采用了认知任务来考察工作记忆刷新功能的可塑性,但是,长期以来心理学的研究被认为是从事经院式的研究,研究者出于研究上的便利,设计一些测查某种心理功能的任务,来“寻找”可能关联和结论。同样,本研究的结论也是在“测查某种心理功能的任务”中得出。刷新能力是通过改变自身、改变环境或找到一个新的环境去有效地适应环境的能力,这种功能的可塑性是否会迁移到日常生活当中?因此,建立具有生态效度测查指标,考察工作记忆刷新功能可塑性也是该领域日后研究的趋势之一。

参考文献

- 陈彩琦. (2004). 工作记忆的 ERP 研究. *华南师范大学学报(社会科学版)*, (6), 114-120.
- 郭春彦. (2007). 工作记忆: 一个备受关注的研究领域. *心理科学进展*, 15(1), 1-7.
- 赵鑫, 付丽, 周仁来. (2011). 我国注意缺陷多动障碍儿童工作记忆研究的文献计量分析. *中国特殊教育*, (12), 73-76.
- 赵鑫, 张光楠, 周仁来. (2009). 我国学习困难儿童工作记忆研究的文献计量分析. *中国特殊教育*, (8), 61-65.
- 赵鑫, 周仁来. (2010a). 工作记忆: 人类高级认知活动的核心. *北京师范大学学报(社会科学版)*, (5), 38-44.
- 赵鑫, 周仁来. (2010b). 工作记忆训练: 一个很有价值的研究方向. *心理科学进展*, 18(5), 711-717.
- 赵鑫, 周仁来. (2014). 基于中央执行功能的儿童工作记忆可塑性机制. *心理科学进展*, 22(2), 220-226.
- 赵鑫, 周仁来. (2011). 工作记忆中央执行系统不同子功能评估方法. *中国临床心理学杂志*, 19(6), 748-752.
- 赵鑫, 周仁来, 刘睿哲. (2012). 我国老年人工作记忆研究的文献计量分析. *中国老年学杂志*, 32(10), 2002-2004.
- 周仁来, 赵鑫. (2010a-05-06). 智力可以通过训练提高吗? *中国社会科学报*, 86, 4.
- 周仁来, 赵鑫. (2010b). 从无所不能的“小矮人”到成长中的“巨人”—工作记忆中央执行系统研究述评. *西北师大学报(社会科学版)*, 47(5), 82-89.
- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30-60.
- Alloway, T. P. (2006). How does working memory work in the classroom? *Educational Research and Reviews*, 1(4), 134-139.
- Alloway, T. P. (2007). Working memory, reading, and mathematical skills in children with developmental coordination disorder. *Journal of Experimental Child*

- Psychology*, 96, 20–36.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56(11), 851–864.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Neuroscience*, 4(10), 829–839.
- Baddeley, A. D. (2008). What's new in working memory? *Psychological Review*, 13, 2–5.
- Baddeley, A. D. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20, 136–140.
- Capon, A., Handley, S., & Dennis, I. (2003). Working memory and reasoning: An individual differences perspective. *Thinking and Reasoning*, 9(3), 203–244.
- Carretti, B., Borella, E., Cornoldi, C., & De Beni, R. (2009). Role of working memory in explaining the performance of individuals with specific reading comprehension difficulties: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, 19, 246–251.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the raven progressive matrices test. *Psychological Review*, 97(3), 404–431.
- Chen, T. Y., & Li, D. M. (2007). The roles of working memory updating and processing speed in mediating age-related differences in fluid intelligence. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(6), 631–646.
- Collette, F., & Van der Linden, M. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 105–125.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163–183.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 769–786.
- Conway, A. R., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 547–552.
- Copeland, D., & Radvansky, G. (2004). Working memory and syllogistic reasoning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 57(8), 1437–1457.
- Donchin, E., & Fabiani, M. (1991). *The use of event-related brain potentials in the study of memory: Is P300 a measure of event distinctiveness?* In J. R. Jennings & M. Coles (Eds.), *Handbook of cognitive psychophysiology* (pp. 471–510). New York: Wiley.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory and general fluid intelligence: A latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 309–331.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11(1), 19–23.
- Engle, R. W. (2010). Role of working memory capacity in cognitive control. *Current Anthropology*, 51(1), 17–26.
- Fabiani, M., Karis, D., & Donchin, E. (1990). Effects of mnemonic strategy manipulation in a Von Restorff paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75, 22–35.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17(2), 172–179.
- Friedman, D., Simpson, G., & Hamberger, M. (1993). Age-related changes in scalp topography to novel and target stimuli. *Psychophysiology*, 30(4), 383–396.
- Gevens, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10, 829–839.
- Harvey, P. O., Bastard, G. I., Pochon, J. B., Levy, R., Allilaire, J. F., Dubois, B., & Fossati, P. (2004). Executive functions and updating of the contents of working memory in unipolar depression. *Journal of Psychiatric Research*, 38, 567–576.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(19), 6829–6833.
- Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal integration theory (P-FIT) of intelligence: Covering neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Science*, 30, 135–187.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 637–671.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781–791.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 317–324.
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Röcke, C., Smith, J., & Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: Practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and Aging*, 23(4), 731–742.
- Loomes, C., Rasmussen, C., Pei, J., Manji, S., & Andrew, G.

- (2008). The effect of rehearsal training on working memory span of children with fetal alcohol spectrum disorder. *Research in Developmental Disabilities*, 29, 113–124.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 377–384.
- McEvoy, L. K., Pellouchoud, E., & Smith, M. E. (2001). Neurophysiological signals of working memory in normal aging. *Cognitive Brain Research*, 11, 363–376.
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forssberg, H., & Klingberg, T. (2009). Changes in cortical Dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 323, 800–802.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111–121.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. T., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Olesen, P., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal brain activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7, 75–79.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46–59.
- Postle, B. R., Berger, J. S., & D'Esposito, M. (1999). Functional neuroanatomical double dissociation of mnemonic and executive control processes contributing to working memory performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(22), 12959–12964.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In: F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.). *The Handbook of aging and cognition* (pp. 1–90). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rypma, B., & D'Esposito, M. (1999). The roles of prefrontal brain regions in components of working memory: Effects of memory load and individual differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 6558–6563.
- Salthouse, T. A. (1994). The aging of working memory. *Neuropsychology*, 8, 535–543.
- Schecklmann, M., Romanos, M., Bretscher, F., Plichta, M. M., Warnke, A., & Fallgatter, A. J. (2010). Prefrontal oxygenation during working memory in ADHD. *Journal of Psychiatric Research*, 44, 621–628.
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106–113.
- Thorell, L. B., & Wählstedt, C. (2006). Executive functioning deficits in relation to symptoms of ADHD and/or ODD in preschool children. *Infant and Child Development*, 15(5), 503–518.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2005). Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between operation span and raven. *Intelligence*, 33(1), 67–81.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2008). Speed and accuracy of accessing information in working memory: An individual differences investigation of focus switching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34, 616–630.
- Unsworth, N., Redick, T. S., Heitz, R. P., Broadway, J. M., & Engle, R. W. (2009). Complex Working memory span tasks and higher-order cognition: A latent variable analysis of the relationship between processing and storage. *Memory*, 17, 635–654.
- Vander Linden, M., Bredart, S., & Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *British Journal of Psychology*, 85(1), 145–152.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory—a single-subject analysis. *Physiology & Behavior*, 92, 186–192.
- Yuan, K., Steedle, J., Shavelson, R., Alonzo, A., & Oppezzo, M. (2006). Working memory, fluid intelligence, and science learning. *Educational Research Review*, 1, 83–98.
- Zhao, X., Wang, Y. X., Liu, D. W., & Zhou, R. L. (2011). Effect of updating training on fluid intelligence in children. *Chinese Science Bulletin*, 56(21), 2202–2205.
- Zhao, X., Zhou, R., & Fu, L. (2013). Working memory updating function training influenced brain activity. *PLOS ONE*, 8(8), e71063.
- Zhao, X., Zhou, R., Fu, L. & Maes, J. H. R. (2014). Near and far transfer effects of working memory updating training in elderly adults. *Applied Cognitive Psychology*, 28(3), 403–408.

The Plasticity of Working Memory Updating Ability

ZHAO Xin¹; ZHOU Renlai^{2,3}

(¹ Behavior Rehabilitation Training Research Institution, School of Psychology, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

(² Beijing Key Laboratory of Applied Experimental Psychology, School of Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(³ Center for Collaboration and Innovation in Brain and Learning Sciences, Beijing 100875, China)

Abstract: Using running working memory task combined with ERPs techniques and adopted different populations to investigate the plasticity of working memory updating function. It found that working memory updating ability has plasticity. In details, individuals' working memory updating task scores could increase through updating training. The results suggested that training firstly enhanced participants' recognition ability at the perceptual stage and then strengthened their capacity to inhibit irrelevant information and attended to the current target stimuli, which in turn improved the updating ability in working memory representation. Through working memory updating training, individuals' could improve its cognitive functions, but compared to which that in the recession stage of working memory ability, this kind of transfer effect could be more apparent on individuals' in the development stage of working memory ability.

Key words: working memory; updating; training; plasticity