

工作记忆刷新训练对儿童流体智力的影响

赵鑫^{①②}, 王一雪^②, 刘丹玮^②, 周仁来^{①②*}

① 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;

② 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875

* 联系人, E-mail: rlzhou@bnu.edu.cn

2011-03-23 收稿, 2011-05-03 接受

国家重点基础研究发展计划(2011CB711000)和教育部长江学者创新团队发展计划(IRT0710)资助项目

摘要 近年来的研究发现, 通过训练个体的工作记忆能力可以提高其流体智力水平. 但是, 以往的研究混淆了工作记忆存储功能与中央执行功能对训练效果的影响. 该研究采用活动记忆任务, 通过双盲对照实验设计, 对 9~11 岁儿童的工作记忆刷新能力进行训练. 研究结果发现, 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. 研究表明, 通过工作记忆训练使得流体智力水平提高与工作记忆中央执行功能的改善有关.

关键词

工作记忆
刷新
流体智力
训练
儿童

人类的智力是否可以通过后天的训练得到提升, 一直是一个饱受争议和关注的话题^[1-3]. 近年来, 研究发现, 通过训练个体的工作记忆(working memory, WM)能力, 可以提高其流体智力^[4,5]. Klingberg 等人^[4]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. 这些训练包括视觉空间工作记忆任务(visuo-spatial WM task)、数字广度任务(Backwards digit-span)、词语广度任务(letter-span task)和选择反应时任务(choice reaction time task)等, 训练时间为每天 20 min, 一周训练 4~6 d, 训练 20 d. 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. Jaeggi 等人^[5]在 2008 年的一项研究中, 采用了工作记忆 N-back 任务对成年人的工作记忆进行了训练, 34 名被试随机分为 4 组, 分别接受为期 8, 12, 17 以及 19 d 的工

作记忆训练. 研究结果发现, 与对照组相比, 接受工作记忆训练被试的智力水平得到提升. 研究还发现, 训练的时间越长、智力水平提高越多.

工作记忆被证明与智力之间存在密切关系, 且对智力具有预测作用^[6,7]. 通过训练工作记忆提高流体智力为该领域的研究开辟了新的方向^[3,8]. 然而, 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^[9,10]. Klingberg 等人^[4]和 Jaeggi 等人^[5]在研究中采用工作记忆广度任务和 N-back 任务作为训练任务, 这些任务被认为是具有代表性的工作记忆任务, 其中既包含了存储成分又包含了中央执行成分^[11,12]. 将其合在一起进行训练导致智力水平的提升, 是因为扩大了存储容量还是改善了中央执行功能并没有被区分开来, 所获结论对于理解工作记忆训练如何影响智力存在着混淆.

近年来, 有关工作记忆与智力关系密切的原因, 越来越多的研究指向了工作记忆的中央执行功能^[13-15]. 研

究者认为, 二者之所以存在高相关, 主要是因为工作记忆的刷新功能在起作用^[16]. 首先, 保持与目标相联系的信息并同时进行加工、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^[17], 而这与工作记忆的刷新功能十分相似^[18]; 其次, 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^[19]; 再次, 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^[14]. 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. 刷新是工作记忆一个重要的中央执行成分, 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^[18]. 活动记忆范式(running memory task)是工作记忆刷新常用的测量方法, 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。活动记忆范式较好地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^[20]。更重要的是,活动记忆任务是一个“纯”工作记忆中央执行功能任务, Van der Linden 等人^[21]发现,健康老年被试的存储功能完好,但是在活动记忆任务中却存在着缺陷; Mirris 和 Johns^[20]在研究中采用活动记忆范式对语音环进行干扰,研究发现,干扰并没有影响到语音环的刷新,证明了活动记忆任务体现的是中央执行功能而非存储功能。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,检验工作记忆刷新功能训练是否可直接促进流体智力的提高。

研究对象选取北京市一所普通小学的 9~11 岁的四年级学生 33 人,其中男生 19 人,女生 14 人。平均年龄 9.76 岁,标准差为 0.61。所有被试视力、听力、智力正常。按照学号将被试随机分为训练组(16 人,其中男生 7 人,女生 9 人)和对照组(17 人,其中男生 12 人,女生 5 人)。为匹配 2 组被试和保证分配到各实验条件下被试的同质性,本研究采用瑞文标准推理测验收集了被试的智力成绩,并将其作为被试流体智力的前测成绩。对 2 组被试的年龄、智力水平进行 *t* 检验,两组被试在年龄和智力 2 个变量上无显著差异。所有儿童此前均未参加过类似的研究。

训练任务根据 Collette 等人^[18]和 Mirris 等人^[20]的活动记忆任务改编,程序采用 Visual C# 编制。总共有 2 个任务。(i) 动物活动记忆任务:首先,屏幕中央出现一个“+”,提示任务马上开始,接着屏幕正中央以 1750 ms/个的速度,依次出现一些动物,且每次出现的个数不相同,有 5, 7, 9, 11 四种长度,每种长度各随机出现 5 次,总共 20 次。要求被试依次记住最后出现的 3 个动物,即一直保持记住最近出现的 3 个动物。最后,屏幕中央会出现全部的 9 个动物,被试按照顺序依次点击最后出现的 3 个动物。(ii) 卡通人物方位活动记忆任务:首先,屏

幕中央会出现一个“+”,提示任务马上开始。接着屏幕正中央会出现一个九宫格,卡通人物头像(马里奥)以 1750 ms/个的速度依次出现在 9 个方格中的任意一个位置中,且每次出现的个数不相同,有 5, 7, 9, 11 四种长度,每种长度随机出现 5 次,总共 20 次。要求被试依次记住卡通人物头像最后出现的 3 个方格,即一直保持记住卡通人物头像所出现的最近的 3 个方格。最后,屏幕中央会出现 3 个九宫格,被试按照顺序依次点击卡通人物头像出现的最后 3 个方格。被试完成一题后按确定键开始下一组。每个任务答对一题计 1 分,满分 20 分。回答正确,屏幕下方会出现 1 个卡通笑脸图标,答题错会出现 1 个卡通炸弹图标。每次做完后反馈给被试成绩,最后根据被试的成绩换取价值不同的奖品。为了克服安慰剂效应,以及在训练过程中其他无关因素的干扰(熟悉主试与环境等),我们采用了双盲对照实验设计。在实验过程中,参加前、后测的

主试不参与训练过程,所有 33 名被试前、后测均在学校同一间教室进行,测试过程中避免学校广播(眼保健操、课间操等)、周边施工等无关因素干扰学生注意力,前后测的时间间隔为 30 d。训练期间,训练组在学校内机房进行工作记忆刷新任务的训练,每天训练 15~20 min,每周训练 3~4 d,训练 4 周,总共训练 15 d。对照组被试每天在相同地点完成与训练任务无关的电脑游戏。

研究采用 SPSS13.0 统计软件进行数据整理和统计分析。运用单因素重复测量方差分析来检测训练效果,研究结果见图 1 和图 2。结果显示,训练时间对动物活动记忆任务成绩有显著影响($F(14,210) = 17.300, P < 0.001, \eta^2 = 0.536$),随着训练天数的增加,被试的成绩显著提高;训练时间对卡通人物方位活动记忆任务成绩有显著影响, ($F(14,210) = 17.199, P < 0.001, \eta^2 = 0.534$),随着训练天数的增加,被试的成绩显著提高。

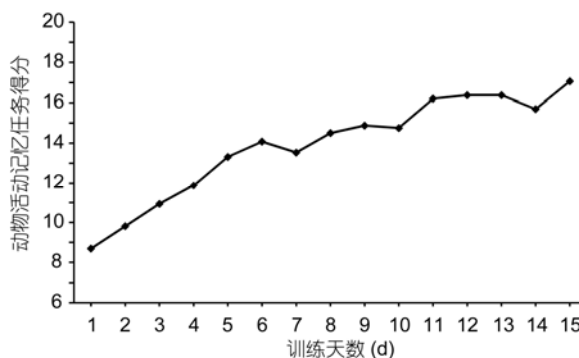


图 1 动物活动记忆任务训练成绩趋势

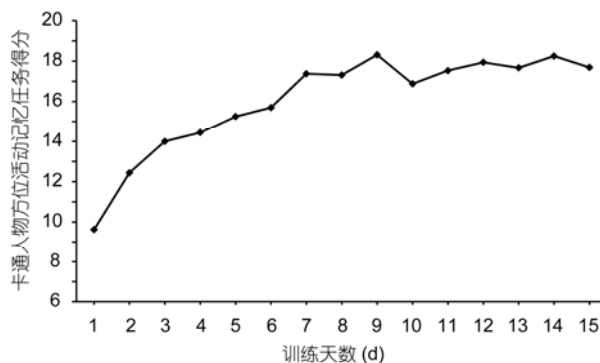


图 2 卡通人物方位活动记忆任务训练成绩趋势

对每一名被试的瑞文标准推理测试的成绩,用其后测成绩减去前测成绩,分别求出训练组和对照组增值分数的平均数.运用独立样本 t 检验对增值分数进行统计分析来检测工作记忆刷新训练对儿童流体智力的影响.表 1 列出了训练前、训练后训练组和对照组儿童瑞文标准推理测验的均值以及增值分数.

对 2 组增值平均数进行显著性检验,结果显示,训练组儿童流体智力成绩的增值分数显著高于对照组儿童流体智力成绩的增值分数, $t(31) = 2.271$, $P < 0.05$, Cohen's $d = 0.98$. 为了进一步确定工作记忆刷新训练对流体智力的起效因素,参照 Klingberg 等人^[4]的研究,分析工作记忆刷新训练后的工作记忆刷新成绩提高程度(训练前工作记忆刷新任务成绩/训练后工作记忆刷新任务成绩)与流体智力提高程度(训练前瑞文标准推理测验成绩/训练后瑞文标准推理测验成

绩)之间的相关,结果显示,二者之间的相关系数 $r = 0.54$, $P < 0.05$.

该研究采用双盲对照实验设计对 9~11 岁儿童的工作记忆刷新功能进行训练,研究结果显示,经过 4 周 15 d 的活动记忆任务训练,儿童的流体智力水平得到了显著的提高.与以往研究相比^[4,5],该研究首次采用了“纯”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训练对流体智力的影响.工作记忆是儿童流体智力发展的基础^[19],首先,工作记忆注意控制模型认为^[7,14,22],工作记忆与流体智力之间的联系主要表现为对控制性注意的要求,而控制性注意能力是由工作记忆中的中央执行功能来完成的.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^[17];其次,工作记忆刷新功能与流体智力的脑区在前额区存在部分重叠^[11,14,23],而 Westerberg 等人^[24,25]的研究证明,通过对工作记忆进行训练,与工作记忆相关的一些脑区的激活增强,而这种脑区激活的增加,并不是由于训练前没有被激活脑区的激活所导致.相反,这种脑区激活的增强被认为是原有激活脑区上的增强.所以,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,进而训练发生了迁移现象,导致儿童流体智力提高;再次,McNab 等人^[26]研究证明,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.工作记忆与流体智力都依赖于有足够多巴胺神经传递,多巴胺 D1 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 D1 受体密度发生改变,进而促使训练发生迁移.未来的研究,应致力于采用认知神经科学的技术手段(ERPs, fMRI 以及 PET 等),解释工作记忆刷新功能训练对流体智力影响的深层原因,进一步探讨人类认知功能的可塑性.

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	增值分数
训练($n=16$)	42.13 $\pm$ 6.12	45.94 $\pm$ 3.45	3.81 $\pm$ 4.59
对照($n=17$)	40.41 $\pm$ 5.14	41.12 $\pm$ 5.06	0.71 $\pm$ 3.18

致谢 衷心感谢北京市新官小学刘彤校长及参加此项研究的教师和同学对本研究所提供的帮助.

参考文献

- 1 周仁来, 赵鑫. 智力可以通过训练提高吗. 中国社会科学报, 2010-05-06, 4
- 2 Moody D E. Can intelligence be increased by training on a task of working memory? Intelligence, 2009, 37: 327-328
- 3 Sternberg R J. Increasing fluid intelligence is possible after all. Proc Natl Acad Sci USA, 2008, 105: 6791-6792
- 4 Klingberg T, Forssberg H, Westerberg H. Training of working memory in children with ADHD. J Clin Exp Neuropsych, 2002, 24: 781-791
- 5 Jaeggi S M, Buschkuhl M, Jonides J, et al. Improving fluid intelligence with training on working memory. Proc Natl Acad Sci USA, 2008, 105: 6829-6833
- 6 赵鑫, 周仁来. 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), 2010, (5): 38-44
- 7 Engle R W. Role of working-memory capacity in cognitive control. Curr Anthropol, 2010, 51: 17-26
- 8 赵鑫, 周仁来. 工作记忆训练: 一个很有价值的研究方向. 心理科学进展, 2010, 18: 711-717
- 9 Baddeley A D. Working memory. Science, 1992, 255: 556-559
- 10 Baddeley A D. Working memory: Looking back and looking forward. Nat Rev Neurosci, 2003, 4: 829-839

- 11 Owen A M, Mcmillan K M, Laird A R, et al. N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging. *Hum Brain Mapp*, 2005, 25: 46–59
- 12 Conway A, Kane M J, Bunting M F, et al. Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psych Bull Rev*, 2005, 12: 769–786
- 13 Engle R W, Tuholski S W, Laughlin J E, et al. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *J Exp Psychol Gen*, 1999, 128: 309–331
- 14 Kane M J, Engle R W. The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psych Bull Rev*, 2002, 9: 637–671
- 15 Unsworth N, Engle R W. Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between operation span and raven. *Intelligence*, 2005, 33: 67–81
- 16 Friedman N P, Miyake A, Corley R P, et al. Not all executive functions are related to intelligence. *Psychol Sci*, 2006, 17: 172–179
- 17 Carpenter P A, Just M A, Shell P. What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the raven progressive matrices test. *Psychol Rev*, 1990, 97: 404–431
- 18 Collette F, Van der Linden M. Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neurosci Biobehav R*, 2002, 26: 105–125
- 19 Chen T Y, Li D M. The roles of working memory updating and processing speed in mediating age-related differences in fluid intelligence. *Aging Neuropsychol Cogn*, 2007, 14: 631–646
- 20 Mirris N, Jones D M. Memory updating in working memory: The role of the central executive. *Br J Psychol*, 1990, 81: 111–121
- 21 Van der Linden M, Brédart S, Beerten A. Age-related differences in updating working memory. *Br J Psychol*, 1994, 85: 145–152
- 22 Conway A R A, Cowan N, Bunting M F, et al. A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 2002, 30: 163–183
- 23 Jung R E, Haier R J. The parieto-frontal integration theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behav Brain Sci*, 2007, 30: 135–187
- 24 Westerberg H, Klingberg T. Changes in cortical activity after training of working memory: A single-subject analysis. *Physiol Behav*, 2007, 92: 186–192
- 25 Olesen P J, Westerberg H, Klingberg T. Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nat Neurosci*, 2004, 7: 75–79
- 26 McNab F, Varrone A, Farde L, et al. Changes in cortical dopamine d1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 2009, 323: 800–802