

工作记忆训练对认知功能和大脑神经系统的影响*

刘春雷¹ 周仁来^{1,2}

(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)

摘要 工作记忆训练成为近年来提升个体认知绩效的一种有效方式。工作记忆训练主要是指采用工作记忆广度任务、刷新任务以及各种复杂工作记忆任务在计算机上以循序渐进的方式进行训练。近年来的研究发现, 工作记忆训练能提升工作记忆、流体智力、抑制、注意、阅读和数学等认知功能。神经机制的研究发现: 工作记忆训练引起大脑额-顶区域激活减弱, 而皮层下结构包括纹状体和尾状核区域的激活增强; 工作记忆训练减少了大脑灰质的数量, 增强了大脑白质的功能连通性; 工作记忆训练引起尾状核上多巴胺受体的变化。未来的研究需要在研究设计、被试人群、研究手段上进一步确认和扩展工作记忆训练的有效性和内在认知神经机制。

关键词 工作记忆; 工作记忆训练; 认知训练; 迁移; 可塑性

分类号 B842

1 引言

工作记忆(working memory, WM)是与日常生活相关的非常重要的能力。工作记忆是指个体在执行认知任务过程中, 暂时储存与加工信息的能量有限的系统, 被认为是人类认知活动的核心, 是学习、推理、问题解决和智力活动的重要成分(赵鑫, 周仁来, 2010)。尽管传统观点认为工作记忆容量是固定的, 但近来的研究发现, 通过对工作记忆进行训练可以提高个体的工作记忆能力(Klingberg, Forssberg, & Westerberg, 2002)。

工作记忆训练成为近年来提升个体认知绩效的一种有效方式。对工作记忆进行训练, 大体可分为两类, 一类是对于工作记忆策略的训练, 另一类是对于工作记忆过程的训练。工作记忆策略训练主要是练习如何使用各种具体的记忆策略, 旨在提升使用心理资源的技巧, 其训练效果一般局限于所训练的任务和材料。工作记忆过程训练

主要集中于对内隐的核心认知过程的训练, 旨在扩展工作记忆容量或者加强认知效能, 其训练效果一般不局限于所训练的任务和材料, 而是可以扩展到其他的任务和材料上。工作记忆过程训练通常是设计成计算机化适应性训练程序, 这种训练程序要求: 1) 限制领域特殊策略的使用; 2) 尽量减少自动化; 3) 任务/刺激涵盖多种样式; 4) 面对干扰时需要记忆保持; 5) 适应被试变化的熟练水平; 6) 需要快速的工作记忆编码和提取; 7) 需要高的认知负荷或密集地认知参与。这种过程训练通常都包含有顺序加工和经常的记忆刷新(Morrison & Chein, 2011)。

在本文中, 工作记忆训练指的是工作记忆过程训练。首先对工作记忆训练常用的训练任务和范式进行了简介, 然后综述了工作记忆对认知功能和大脑神经系统的影响, 最后指出了以往研究存在的不足并对进一步的研究进行了展望。

2 工作记忆训练简介

工作记忆训练是以一种适应性的方式在电脑上集中地练习操作工作记忆任务。计算机编程使得自动调节任务难度水平以最大限度的接近练习者的工作记忆容量极限成为可能。然而, 现

收稿日期: 2011-09-28

* 国家重点基础研究发展计划(2011CB711000)和国家社科基金重大项目(11&ZD187)资助。

通讯作者: 周仁来, E-mail: rlzhou@bnu.edu.cn

在已经发表的关于工作记忆训练的很多研究在方法学上都存在不同,如总的训练时间、使用的训练任务、使用的训练任务的数量、被试的特点(年龄、认知功能、正常或临床)以及训练效应的测量。工作记忆训练方法可以根据使用的训练任务分为以下三类:

2.1 工作记忆训练任务类型

2.1.1 工作记忆广度任务

工作记忆广度任务包括言语工作记忆任务和视空间工作记忆任务。在言语工作记忆任务中,被试必须记住所有呈现的刺激(可以是视觉的也可以是听觉的)。在呈现了刺激后,被试必须再现这个任务,或者是比较先呈现的刺激与后呈现的刺激在某种规则上的差别。在另一些任务中,要求记住的刺激在刺激呈现后必须以某种简单的方式加以操作(例如数字倒背任务)。尽管数字正背任务和数字倒背任务在心理测量学属性上是否存在差别仍有争议,为了叙述方便把这两种数字广度任务归为一类。在视空间工作记忆任务中,刺激客体以不同的方位呈现在电脑屏幕,要求被试按顺序或倒序回忆客体的方位和形状。

2.1.2 刷新任务

刷新是执行功能的重要成分,是根据新呈现的信息不断更改工作记忆的内容的过程,以匹配当前的任务要求。具体表现在,为了适应当前的任务,刷新功能对进入工作记忆中的新信息进行监控和编码,之后再适当修改工作记忆中的内容,用更适合任务需求的新信息取代不适合的旧信息。常用的刷新训练任务主要有 N-back 任务和活动记忆任务(running memory task)。

N-back 任务是让被试浏览一系列依次呈现的刺激(如字母),要求被试判断每一个出现的刺激是否与此前刚呈现过的前面第 n 个刺激相匹配。被试在完成 N-back 任务时,必须在记忆中贮存并复述新出现的 n 个刺激,以便与即将出现的一个新的刺激匹配。这项任务要求被试要不断更新刺激的信息,是训练刷新功能的一个重要的范式。活动记忆任务要求被试听或看一系列未知长度的项目串,之后回忆最近呈现的几个项目,刺激材料一般为数字或者字母。活动记忆任务较好地体现了对输入信息的监控,用与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。如字母活动记忆任务:计算机屏幕中央以每个 200

毫秒的速度呈现一系列大写英文字母(字母数 3-8 个不等),要求被试者随时记住该字母串后的最后 3 个字母,直到呈现完毕。例如,屏幕中央依次出现的字母为:M、K、R、T、S、V、L,呈现完毕后,被试要求输入最后的三个字母,即 SVL。

2.1.3 复杂工作记忆任务

在复杂工作记忆任务中,被试不仅需要记住工作记忆广度任务中呈现的刺激,还要在记忆呈现的刺激过程中进行其他的加工任务。例如,在 Chein 和 Morrison (2010)的一项复杂空间工作记忆任务中,被试不仅需要记住呈现刺激的方位,而且还要判断呈现的图画是否是对称的。在最近 Jaeggi 等人(2008)的对成年人进行的刷新训练研究使用了双重 N-back 任务,在这个任务中,被试必须同时加工视觉和听觉 N-back 任务。另外,亚洲几个国家和地区的研究者也对儿童和成年被试进行了心算或珠心算训练。例如,日本的 Takeuchi 等(2011)对健康年轻人进行了心算训练,台湾学者以及我国大陆一些学者都进行了珠心算的训练。

2.2 工作记忆训练程序

目前西方已有一些较为成熟的工作记忆训练程序,现简要介绍如下。

Cogmed 是应用最为广泛的工作记忆训练程序(www.cogmed.com),由瑞典卡洛琳那研究所 Klingberg 及其同事于 2001 年所设计开发,已被多个国家和地区的教育心理研究和临床康复机构所采用。该程序包含有 5 个视空工作记忆任务和 3 个言语工作记忆任务,每天引导儿童完成 8 个练习,完成后即给予得分和言语反馈,每周练习 5 次,连续练习 5 周。难度水平根据每次的成绩进行适应性调整,因此可以最大限度地训练儿童的工作记忆容量。Lumosity 是由 lumo 实验室于 2007 年开发的基于网络的认知训练程序(www.lumosity.com)。他们的训练程序旨在训练包括记忆、注意、加工速度、灵活性和问题解决 5 项核心认知能力。CogniFit 是以色列 CogniFit 公司开发的一套个性化训练程序(www.cognifit.com),包含有视觉性言语工作记忆、非言语听觉工作记忆和视空间工作记忆任务。此外还有美国 MindSparke 公司开发的“Brain Fitness”程序(www.mindsparke.com),包含有 n-back 等一系列工作记忆训练任务。

这些程序的一个优点是训练的多样化,增加

了某一个或多个联合任务所起的训练增强效果的机会。最好的情况是,这些任务能够以一种加法的方式增强认知能力,从而产生最大的迁移效果。然而,从科学的方面来说,这种瑞士军刀式的训练方式存在的缺点是难以确定产生认知增强真正的决定成分是哪一种,其机制是什么。

3 工作记忆训练对认知功能的影响

工作记忆训练对认知功能的影响在临床和非临床样本上都有若干研究。这种训练不仅影响未经训练的工作记忆任务成绩,而且也影响一些与工作记忆有联系的其他认知功能。

3.1 工作记忆

工作记忆训练对未经训练任务上的操作成绩的提升,可以根据工作记忆训练所使用效标测量方法和刺激的模态划分为不同的分类。以往的这些研究表明,至少在某些情况下,工作记忆训练可以提升在未经训练的工作记忆任务上的操作成绩,尽管训练任务的类型、刺激的模态和测量训练效应的任务不同。

已有的研究结果一致显示工作记忆训练效应能够迁移到跟训练任务享有相同的任务类型(简单广度任务、复杂广度任务、刷新任务等)和相同的刺激模态(数字、言语或空间)的任务上。尽管这些任务在某些方面存在不同,例如计算机的使用、指示答案的方法或者反应呈现的方式等。在健康成年人(Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004)、注意缺陷与多动症儿童(Klingberg et al., 2005)、低工作记忆容量儿童(Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009)、中风病人(Westerberg et al., 2007)等都展现出工作记忆广度训练能够迁移到那些有相同刺激模态的任务中。

迁移效应能够发生在享有相同的任务类型但是不是相同刺激模态的任务,在对健康学前儿童进行视空 WM 广度训练的训练效应能够迁移到言语广度任务中(Thorell, Lindqvist, Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009)。而且,用一项空间 N-back 任务和一项带有操作记忆信息的空间 N-back 任务对健康年轻人和老年人进行训练,发现能够提升被试数字 N-back 任务的操作成绩(Li et al., 2008)。但是,用一项简单 WM 广度任务和两项动物图片的复杂广度任务对健康老年人进行训练,不能够提高被试在简单数字广度任务上的操作成绩

(Buschkuhl et al., 2008)。

在一些研究中也发现工作记忆训练效应也可以迁移到其他类型的任务中。一项对健康年轻人的双重 N-back 任务(字母刺激和视空间刺激)训练显示促进了被试在数字广度任务上的操作成绩,但是在复杂工作记忆广度任务或阅读广度任务没有效应(Jaeggi et al., 2008)。对低工作记忆容量儿童进行工作记忆广度任务适应性训练,相比非适应性训练,适应性训练效应能够迁移到复杂工作记忆广度任务上(Holmes et al., 2009)。

3.2 非言语推理(流体智力)

工作记忆容量与非言语推理能力具有高度相关(Kyllonen & Christal, 1990)。非言语推理与一般智力具有高度相关,而且一般智力或流体智力是由非言语推理任务来测量的(Engle, Kane, & Tuholski, 1999)。一般智力被认为对各种类型的认知测验的成功具有关键作用,不管测验是言语的还是非言语的。尽管已经有不少研究探讨了工作记忆训练对非言语推理测试的效应,但这些研究的结果却不大相同,而且造成这种不同的原因尚未可知。

Jaeggi 等人(2008, 2011)分别对健康年轻人进行单一 N-back 任务和双重 N-back 任务(位置和数量同时匹配)的训练,发现提升了流体智力测验(瑞文推理测验和 BOMAT, 一种瑞文推理测验的难度升级变式)的成绩。对健康年轻人和注意缺陷和多动症儿童进行工作记忆广度训练,也发现提升了被试在瑞文推理测验上的成绩(Klingberg et al., 2005; Klingberg et al., 2002)。国内赵鑫等人(2011)采用活动记忆任务对儿童进行记忆刷新训练。每天训练 20 到 30 分钟,一周训练 5 天,连续训练 4 周。结果发现这种记忆刷新训练提升了训练儿童的工作记忆成绩和瑞文图形推理测验的成绩,表明记忆刷新训练具有提升儿童流体智力的作用。仲崇健(2011)采用工作记忆视觉单任务、工作记忆同时双任务(n-back)、双通道注意任务对小学生进行了 5 天、10 天、15 天、20 天的训练,发现 15 天的训练量对于提高流体智力可能是最有利的,随着训练量的增加对于提高工作记忆阅读广度有好处。同时双任务训练对提高流体智力以及工作记忆数字广度效果较好,对于数字广度训练后的效果好于不训练。低工作记忆能力组在流体智力、阅读广度、数字广度的提高量上的获益

大于高工作记忆能力组的获益。

也有的研究没有发现工作记忆广度训练能够增强被试在以下任一任务中的成绩,如中风病人的瑞文推理测验(Westerberg et al., 2007)、学前儿童的方块设计测验(一种空间问题解决任务,跟一般智力具有高相关)或者低工作记忆儿童的基于方块设计和矩阵推理测试的韦氏智力量表的 IQ 成绩(Thorell et al., 2009)。对轻度智障青少年或年轻人进行复杂工作记忆训练没有发现被试提升了在瑞文推理测验上的成绩(van der Molen et al., 2010)。一项对健康的年轻人和老年人进行工作记忆刷新训练研究,每次 45 分钟一周 3 次,共训练 5 周。与控制组相比较,实验组中青年被试在没有训练过的 3-back 工作记忆任务中表现明显提高,这种效果一直持续到 18 个月后的测试中。但青年被试在其他三项工作记忆任务及瑞文高级推理测验中成绩改进不大(Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Neely, 2008)。

上述一些工作记忆训练没有提升被试在瑞文推理测验中的成绩可能是遭遇到了天花板效应(Westerberg et al., 2007),也可能是由于在前测和后测中使用了完全相同的测验导致敏感性降低所致(Buschkuhl & Jaeggi, 2010)。这些研究结果的不一致可以归结为训练方法的不同。目前用包括 N-back 任务或活动记忆任务的刷新功能训练和双重工作记忆任务训练可以提升儿童和年轻人的非言语推理成绩。除了训练方法存在不一致外,还有一些其他的问题也会导致缺乏显著性结果,例如,统计功效不够、统计偏差、训练时间过短等。在一项研究中没有显著性结果,并不是缺乏效应的证据。

3.3 抑制

抑制功能被认为是工作记忆中央执行系统的基本成分,为了保证工作记忆中执行系统的顺利进行,在注意转换中,需要抑制已自动化的加工,在更新过程中需要抑制不再有用的信息。

工作记忆训练对抑制功能的迁移效应被部分研究证实。注意力缺陷多动障碍儿童经过 Cogmed 的工作记忆广度训练后,其完成 Stroop 任务的成绩得到提高,注意力分散的临床症状得到明显控制和减少(Klingberg et al., 2002; Westerberg & Klingberg, 2007)。同样,Olsson 等人(2004)采用 Cogmed 的视空工作记忆广度任务对健康年轻人

进行了 30 天的训练,结果发现提高了被试完成 Stroop 测验的成绩。Chein 和 Morrison (2010)采用包含言语和视空间形式的复杂工作记忆广度任务对大学生进行了持续 4 周的训练,发现工作记忆训练效应可以扩展到 Stroop 任务上。Houben 等人(2011)采用视空工作记忆任务、数字倒背任务和字母广度任务对 48 名酗酒者进行了总共 25 天的训练,结果发现,训练后酗酒者的工作记忆提高了,酒精摄入量减少了 30%。研究者认为工作记忆训练对酗酒行为的影响是通过增强了酗酒者对冲动的抑制而实现的。

然而,对中风病人进行工作记忆广度训练(Westerberg et al., 2007),对轻微智障青少年进行的复杂工作记忆训练(van der Molen et al., 2010),对健康年轻人和老年人进行不包括 N-back 任务的刷新训练(Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Neely, 2008),都没有表现出对 Stroop 测验操作成绩的显著促进作用。针对正常学前儿童的一项研究,在完成连续任务中训练过的儿童出现错误更少,但在“go/no-go”任务中表现差异不大。造成这些结果不显著的原因可能是被试的特性和训练总量的不同造成的(Thorell et al., 2009)。

3.4 注意

注意与工作记忆共享有部分相同的神经基础(Awh & Jonides, 2001),两者具有紧密的联系,二者都受大脑前额叶皮层和基底核的活动性影响。Westerberg 等人(2007)探讨了工作记忆训练对中风病人注意测验的影响。在这项研究中,采用工作记忆广度训练对中风病人进行了每天 40 分钟,5 周 23 天总共 15 个小时的训练。结果发现,工作记忆训练后在步进式听觉累加测试(Paced Auditory Serial Addition Test, PASAT)和 RUFF 2 & 7 (一种选择性注意测试工具)两项注意测验的成绩提高了。对多发性硬化症患者进行包括工作记忆广度、复杂的和刷新工作记忆训练,发现患者在 PASAT 上的成绩有了提高(Vogt et al., 2009)。而且,采用工作记忆广度训练也能够显著地减少在 go/no-go 上发生忽略错误(即当指示要做反应时没有做反应),并且能够极大地提高在 PASAT 上的成绩。

3.5 阅读和计算、数学

与计算、数学和阅读相关的能力无疑与学业成绩密切相关,因此,工作记忆训练是否能够提

高在这方面的能力也是研究者所关注的问题。

在 Chein 和 Morrisin (2010)的工作记忆训练研究中,健康年轻人需要每天训练复杂工作记忆任务 30~45 分钟,每周训练 5 天,连续 4 周,总共 13 小时。训练后提高了受试者在阅读理解测验上的成绩。在 Holmes 等人(2009)的研究中,对低工作记忆能力儿童进行工作记忆广度训练发现在训练后 6 个月时被试的数学推理成绩提高了(虽然这种提高在刚训练完时没有观察到)。然而,这种训练没有导致基本阅读测试的提高。van der Molen 等人(2010)对轻微智障青少年进行的复杂工作记忆训练发现提高了受试者在简单算术任务上的成绩。然而,没有发现快速阅读测试成绩的提高。这种提高是在 10 周后看到的,而不是训练一结束后就看到的。Loosli, Buschkuehl, Perrig 和 Jaeggi (2011)采用工作记忆广度任务对 24 名 9~11 岁的正常儿童进行了连续 2 周共 10 天的适应性训练,发现训练效应能够迁移到单字和文本阅读任务上。

总体上看,工作记忆训练能够提高阅读、数学或者计算的能力,尤其对数学或计算能力的提升较大。有趣的是,有的工作记忆训练导致这些能力的提高,不是发生在训练后的开始阶段,而是发生在后续测试阶段,这表明一种“延迟迁移”的存在。

4 工作记忆训练与大脑可塑性

过去已经有一些研究考察了适应性工作记忆训练效应的神经系统,包括大脑功能活动、大脑结构、以及皮层多巴胺密度。这些研究都显示了适应性工作记忆训练影响了在工作记忆中起重要作用的额-顶神经网络的多个方面。额-顶神经网络广泛地参与了外源性注意任务。因此,额-顶神经网络的改变可能不仅仅改善工作记忆,而且可能是参与了广泛的认知功能的改善。

4.1 功能可塑性

练习和训练可以促使大脑活动模式发生变化,也即出现大脑功能的可塑性。工作记忆训练的大脑激活模式可以分为如下三类。一类是在训练前后大脑激活的是同一区域,但在训练后激活减弱。这种激活模式可能反映了训练提高了大脑工作效能,为其他加工留下了空间。另一种激活模式也是训练前后激活的是大脑同一区域,但是训练后激活增强。这可以解释为参与加工的神经结

构扩大了。第三类激活模式反映了前两种模式的结合,训练前后大脑一些区域训练后激活增强而有一些区域激活减弱,可以称为激活重排(redistribution)。

4.1.1 激活减弱

Hempel 等人(2004)采用 fMRI 技术考察了健康被试进行 2-back 任务训练前中后的大脑皮层激活情况。结果发现任务主要激活了右半球内侧顶叶沟和右半球额下回。经过 2 个星期的训练后,这些区域的激活增强了,而经过 4 个星期的训练后,这些区域的激活减弱了。Schneiders 等人(2011)采用 fMRI 技术考察了视觉或听觉 2-back 任务训练前后的大脑激活情况。结果发现视觉工作记忆训练相比听觉工作记忆又更大的训练增益。这种效应伴随着右侧额中回的激活减弱。同样,视觉和听觉的训练也导致右侧额中回上部区域和右侧后顶叶区域激活减弱。

以上几个研究说明,训练任务在开始阶段脑激活会有增加,但随着训练的进行,同一区域的脑激活会减弱,表明神经功能越来越有效率。

4.1.2 激活增强

在基于技能习得文献基础上,Westerberg 和 Klingberg (2007)假设工作记忆训练程序的练习迁移到未经训练的任务上可能是训练引发的脑激活增强所致。他们在额中回或额下回以及顶叶发现了这种激活增强。然而,这个效应仅是在基于三个被试的数据上得出的,概化程度有限,而且,这些结果也与他们先前的一项研究仅存在部分一致(Olesen et al., 2004)。

在最近 Jolles 等人(2010)的研究中,他们采用数字正背任务(记忆保持)和数字倒背(记忆操作)对 15 名成年被试进行了 6 周的训练,分别在训练的第一周和最后一周进行了 fMRI 扫描。结果发现工作记忆保持和操作加工具有不同的神经变化。数字正背任务在训练后缺省模式区域脑激活增加,数字倒背任务在训练后纹状体和左半球腹内侧前额皮层脑激活增加。

4.1.3 激活重排

另一种模式是干预前后既有一些脑区激活增强又有一些脑区激活减弱。脑激活减弱可能发生在那些负责更一般的加工如注意控制的脑区(前额皮层)。脑激活增强可能发生在负责特殊任务功能的区域。注意控制一般发生在训练任务的开始

阶段,随着训练的增加,对任务的加工变得更加自动化从而需要更少的注意控制(Chein & Schneider, 2005)。

Olesen 等人(2004)用2个fMRI实验考查了工作记忆训练引发的大脑可塑性。采用视空工作记忆任务、数字倒背任务和字母广度任务对健康成年人进行训练。结果发现工作记忆训练后大脑的额中回和顶叶皮层的上部和侧部活动增加,同时还观察到扣带沟活动的减少(与动作计划的减少有关)。Dahlin 等人(2008)用刷新实验任务对被试做了总计11个小时的训练发现训练后被试尾状核活动明显增加,但额叶前部和顶叶皮层活动相对减少。用一组尾状核活动频率低的年长被试作为参照,分析原因可能的解释是这些被试缺乏对原有任务的迁移。相关研究发现:短期训练(时间3个小时以内)都会导致大脑区域活动的增加,但长期训练却根据大脑区域表现出不同的增减趋势。增加与额顶内部皮层及脑部前段沟回、尾状核的活动有关,而减少可能与学习方法如编码、时间任务效应有关。

4.2 结构可塑性

练习和训练可以改变大脑皮层厚度等结构形态,也即出现大脑结构上的可塑性,更能深刻地反映了工作记忆训练干预的持久效果。

Takeuchi 等人(2010)采用扩散张量成像(Diffusion Tensor Imaging, DTI)技术,研究了健康青年在经过2个月的包括1个简单工作记忆任务、1个复杂N-back任务和一个双重N-back的训练(每次是25分钟,训练的频率依被试而定)后的大脑白质结构,发现与大脑内侧顶内沟和胼胝体前侧部分相连的大脑白质区域的白质结构连通性有了增加。Takeuchi 等人(2011)采用基于体素的形态测量学技术,研究了健康年轻人在经过每天4小时,一周5次共20个小时的心算工作记忆训练后的大脑灰质结构,发现在双侧背外侧前额皮层、双侧顶叶以及左侧颞上回区域的灰质量有了减少。这种大脑灰质的减少可能反映了神经效能的提高(Chein & Schneider, 2005)。

4.3 多巴胺变化

中枢神经系统多巴胺是重要的神经递质,在调节中枢神经系统各种功能方面起着关键作用,如空间记忆、运动功能、神经激素释放等(Gruber, Dayan, Gutkin, & Solla, 2006)。多巴胺对工作记忆

任务表现和神经系统可塑性有着重要作用。

McNab 等人(2009)通过观察多巴胺受体D1和D2的浓度来研究确定工作记忆训练的效果。经过为期5周的训练后,与控制组相比,实验组中工作记忆容量增加的被试D1受体神经末梢都有明显变化,但D2皮层下神经末梢没有变化。这说明D1受体激活可以提高工作记忆成绩。在最近的一项研究中,Bäckman 等人(2011)采用PET技术探讨了经过5周的刷新训练所引发的多巴胺活动。同McNab 等人报告的结果相似,他们发现了减少的多巴胺结合位能(binding potential, BP),但是在D2受体上,而且这种变化也是仅仅表现在左侧尾状核上。

5 工作记忆训练研究的不足

工作记忆训练的研究近年来刚开始起步,上述这些研究取得了令人可喜的结果,但是这些结果的解释受到一些研究者的质疑,还存在以下一些不足。

5.1 努力/预期效应

一个备受关注的问题是,上述参与者在测验上成绩的提高可能是由于参与者的预期或投入的水平不同而导致的。一种常见的预期效应就是临床药物试验中的安慰剂效应。仅仅是简单的相信训练会给认知带来积极的结果就可能产生在后测中成绩得到提高。参与者也可能会受到训练研究本身要求特征的影响。即参与者预期实验的目的,从而在后测中投入更大的努力。最后,表面上的训练相关的提高可能反映了参与者在认知训练过程中认知投入水平不同。由于实验组中的参与者经常需要付出更多的心理活动,因此他们可能会在训练后的评估中更加努力以确保他们先前的努力没有白费。

解决预期效应的另一个办法就是系统检核迁移的选择性或系统性。例如,Chein 和 Morrison (2010)报告了复杂工作记忆训练选择性的迁移到认知控制和阅读理解,而没有迁移到图形推理或流体智力测量上。如果后测的增益归结到训练组和控制组之间的预期或努力效应,那么应该能够看到更加普遍的迁移。Schmeidek 等人(2010)的研究也发现了在训练和迁移之间类似的关系,在训练过的工作记忆任务上的变化和近迁移的工作记忆测量的潜变量之间高度相关。他们认为这

种系统性的相关表明工作记忆训练对迁移任务成绩的直接影响,可以避免预期效应的混淆。

5.2 训练任务和评估任务具有共享的成分

工作记忆训练研究经常将源于单一任务的训练的测验概化,将在那个任务上的增益解释为反映了定义更为广泛的认知能力上。例如, Chein 和 Morrison (2010)报告了工作记忆训练可以提高阅读理解能力,而实际上仅仅体现在一个阅读技能测试上。相似地, Jaeggi 等(2008)宣称工作记忆训练可以影响流体智力,而实际上是仅在某一个用来测量流体智力的任务上(Bochumer Matrizen-Test, BOMAT)有影响。就像 Moody (2009)在针对 Jaeggi (2008)所做研究的批评中指出的一样,这些发现的解释是有问题的,因为效果泛化可能是由于训练的任务和测量的任务在本质上是同构的,不依赖于所测量任务(例如阅读理解、流体智力)背后的能力的增强。在他的例子中, Moody (2009)认为 Jaeggi 和其同事所用 BOMAT 所测的智力直接依赖于空间记忆中的存储信息,而这实际上就是在训练中所练习的技能。因此,泛化到 BOMAT 仅仅是练习空间存储的结果,而非缘于提升了流体智力本身。我们建议用多种公认的测量方法去测量一个潜在心理构念,并抽取共同方差作为在这个构念中个体差异的指标,以找出一个潜在认知能力以最大限度地减少这种混淆。到目前为止,仅有一项研究 (Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2010)使用潜变量研究方法探究了远迁移。在这项研究中,训练的迁移效应不仅仅体现在一项评估任务中,也体现在由流体智力的多项指标所抽取出的潜变量上。

5.3 实验方法和发现存在不一致

当前工作记忆训练研究的另一个缺陷是研究方法缺乏标准化以及研究发现的会聚性,还处于工作记忆训练的横向扩展研究阶段。首先,每一个研究组都使用不同的、便利的方式进行训练,很少有在某一给定的训练方式下进行跨实验室的验证研究。而且,目前为止尚没有一个已经发表的比较训练效果的研究。因此,我们不能确定某一训练方式是否能够提供一种认知增强的更有效的工具,或者不同的训练方式方法是否可以用来针对不同的认知功能。

5.4 神经机制的研究仍显粗糙

当前的研究结果显示,工作记忆训练主要是

增强了工作记忆的执行成分,认为这些机制的增强可能支持训练迁移。然而,在解释这些神经成像结果的时候需要考虑以下几点。首先,在这些实验设计中同样存在跟上面一样的缺陷(例如构念测量的缺乏、没有积极的控制组等)。其次,大脑额顶区的卷入与很多较难的任务相关,因此,难度可能混淆了工作记忆与额顶区的参与之间的关系。最后,区域脑区的激活增强可能反映了大脑功能增强(例如,通过皮层扩展或增强了对策略加工的依赖),但也可能仅仅意味着更加努力的加工过程。

6 未来研究展望

已有的研究为理解工作记忆容量的可扩展性和有效的工作记忆设计提供了重要的基础,说明工作记忆训练能够产生普遍的认知增强。尽管已经有很多工作记忆训练的心理学、临床的和神经成像的研究,但考虑到工作记忆与流体智力的重要性,流体智力可以通过至少某一种工作记忆训练加以改善,未来仍有许多有趣的主题值得进行心理学、临床的和神经方面的探索。

首先,可以扩展研究的被试。已有研究表明,学习障碍与工作记忆系统缺陷有关。可以对学习障碍儿童进行适应性工作记忆训练以提升其工作记忆能力和学业成绩。还有研究报告流体智力对特定领域(例如下棋)起着关键作用,而且流体智力不仅对学业成绩而且对工作绩效也具有重要作用。因此,另一个有趣的研究主题是工作记忆训练是否能够增强特定领域专家技能。是否能够增加学业成绩和工作绩效,是否能够促进特定领域的新手学习,例如英语口语译人员。

其次,未来的研究需要更加明确的阐明引起训练增益的特殊机制。被试后测成绩的提高可能来源于多种途径:个别任务刺激的更加有效的编码;对实验的所有刺激更加熟悉;获得了刺激特别的组块化或更精细的编码策略;总体信息加工速度加快;注意控制增强等等。成功的训练迁移可能依赖于多种可能的机制,不同的训练范式有着不同的作用机制。可以进行几种训练模式的对比研究,找出某种最有效的训练方式和方法,或者找出不同的训练方法对各种认知功能的起效机制。可以分别从领域特殊性的角度和领域特定性的角度进行研究。

最后,在研究设计中,应该根据研究目的设置双盲实验,以控制实验者效应。在控制组加入与工作记忆训练任务无关的认知任务,以消除安慰剂效应。要在儿童身心状态很好的情况下训练,避免疲劳效应。训练程序要有趣味性,以增强儿童的训练动机。在对认知能力的测量中,可以采用几种有代表性的测量工具使用潜变量分析法进行更有说服力的研究。另外,在研究的效果测量上,应该采用更加科学的统计方法对效应大小进行统计,以便不同实验研究之间的对比。

参考文献

- 赵鑫,王一雪,刘丹玮,周仁来. (2011). 工作记忆刷新训练对儿童流体智力的影响. *科学通报*, (17), 1345–1348.
- 赵鑫,周仁来. (2010). 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.
- 仲崇健. (2011). *工作记忆与注意的训练对小学生流体智力的影响*. 硕士学位论文, 西南大学.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3), 119–126.
- Bäckman, L., Nyberg, L., Soveri, A., Johansson, J., Andersson, M., Dahlin, E., et al. (2011). Effects of working-memory training on striatal dopamine release. *Science*, 333, 718.
- Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2010). Improving intelligence: A literature review. *Swiss Medical Weekly*, 140(19–20), 266–272.
- Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M., Hutchison, S., Perrig-Chiello, P., Däpp, C., Müller, M., et al. (2008). Impact of working memory training on memory performance in old-old adults. *Psychology and Aging*, 23(4), 743–753.
- Chein, J. M., & Morrison, A. B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(2), 193–199.
- Chein, J. M., & Schneider, W. (2005). Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain-general control network for learning. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 607–623.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Bäckman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510–1512.
- Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L., & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: Immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*, 23(4), 720–730.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102–134). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gruber, A. J., Dayan, P., Gutkin, B. S., & Solla, S. A. (2006). Dopamine modulation in the basal ganglia locks the gate to working memory. *Journal of Computational Neuroscience*, 20(2), 153–166.
- Hempel, A., Giesel, F. L., Garcia Caraballo, N. M., Amann, M., Meyer, H., Wüstenberg, T., et al. (2004). Plasticity of cortical activation related to working memory during training. *The American Journal of Psychiatry*, 161(4), 745–747.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), 9–15.
- Houben, K., Wiers, R. W., & Jansen, A. (2011). Getting a grip on drinking behavior. *Psychological Science*, 22, 968–975.
- 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*, 105(19), 6829–6833.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(25), 10081–10086.
- Jolles, D. D., Grol, M. J., van Buchem, M. A., Rombouts, S. A. R. B., & Crone, E. A. (2010). Practice effects in the brain: Changes in cerebral activation after working memory practice depend on task demands. *Neuroimage*, 52, 658–668.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., et al. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD—a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177–186.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781–791.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity? *Intelligence*, 14(4), 389–433.
- 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.
- Loosli, S. V., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Jaeggi, S. M. (2011). Working memory training improves reading processes in typically developing children. *Child Neuropsychology*, 18, 62–78.
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forssberg, H., et al. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 323, 800–802.
- Moody, D. E. (2009). Can intelligence be increased by training on a task of working memory? *Intelligence*, 37(4), 327–328.
- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 46–60.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75–79.
- Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2, 27.
- Schneiders, J. A., Opitz, B., Krick, C. M., & Mecklinger, A. (2011). Separating intra-modal and across-modal training effects in visual working memory: An fMRI investigation. *Cerebral Cortex*, 21, 2555–2564.
- Takeuchi, H., Sekiguchi, A., Taki, Y., Yokoyama, S., Yomogida, Y., Komuro, N., et al. (2010). Training of working memory impacts structural connectivity. *Journal of Neuroscience*, 30(9), 3297–3303.
- Takeuchi, H., Taki, Y., Sassa, Y., Hashizume, H., Sekiguchi, A., Fukushima, A., et al. (2011). Working memory training using mental calculation impacts regional gray matter of the frontal and parietal regions. *PLoS One*, 6(8), e23175.
- Thorell, L. B., Lindqvist, S., Nutley, S. B., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, 12(1), 106–113.
- van der Molen, M. J., van Luit, J. E. H., van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54, 433–447.
- Vogt, A., Kappos, L., Calabrese, P., Stocklin, M., Gschwind, L., Opwis, K., et al. (2009). Working memory training in patients with multiple sclerosis-comparison of two different training schedules. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(3), 225–235.
- Westerberg, H., Jacobaeus, H., Hirvikoski, T., Clevberger, P., Ostensson, M. L., Bartfai, A., et al. (2007). Computerized working memory training after stroke - A pilot study. *Brain Injury*, 21(1), 21–29.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory-a single-subject analysis. *Physiology & Behavior*, 92, 186–192.

Effects of Working Memory Training on Cognition and Brain Plasticity

LIU Chun-Lei¹; ZHOU Ren-Lai^{1,2}

(¹ Beijing Key Lab of Applied Experimental Psychology (Beijing Normal University), Beijing 100875, China)

(² State Key Laboratory of Cognitive Neurosciences and Learning (Beijing Normal University), Beijing 100875, China)

Abstract: In recent years, working memory training has been recognized as an effective way to improve individual cognitive performance. Working memory training uses working memory span tasks, updating tasks, and other complex tasks which are carried out in computers progressively. Recent researches find that working memory training can improve working memory itself, fluid intelligence, inhibition, attention, reading and mathematics. Researches on brain plasticity found that working memory training weakens the activation in frontal and parietal regions, strengthens the activation of subcortical structures including corpus striatum and caudate nucleus, decreases grey matter, improves white matter connectivity, and changes dopamine receptor in caudate nucleus. More studies need to be carried out to revise research designs, research subjects and research methods, to check the effectiveness of working memory training, and to uncover its cognitive and neural mechanism.

Key words: working memory; working memory training; transfer; plasticity