

## 老年执行功能的认知可塑性和神经可塑性\*

杜新<sup>1,2,3</sup> 陈天勇<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院心理研究所老年心理研究中心, 北京 100101)

(<sup>2</sup>中国科学院心理研究所心理健康院重点实验室, 北京 100101) (<sup>3</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 执行衰退假说认为执行功能的特异性衰退是引起认知老龄化的主要原因, 近年来越来越多的研究表明, 老年人的执行功能及其相关脑区(主要为前额叶)存在可塑性, 通过训练执行功能的衰退可得到缓解, 且相关脑区的激活水平、脑容量或神经递质都可发生改变; 部分研究还发现执行功能训练对其它认知能力有一定的迁移效应。这些发现对于认知老龄化理论的继续探索和认知干预研究的实践应用都具有重要意义。

**关键词** 执行功能; 老年人; 认知可塑性; 神经可塑性; 迁移效应

**分类号** B842; B844.4

长期以来, 认知老化研究延续的是传统的“衰退模型”, 例如较有影响的加工速度理论、抑制控制理论和执行衰退理论, 这些理论无一例外地强调老化所带来的认知损伤。然而越来越多的研究表明, 老年人的认知功能可以通过训练得以提高, 甚至在一定程度上有所逆转 (Baltes & Lindenberger, 1988; Thompson & Foth, 2005; Willis et al., 2006), 并且训练还可引发脑容量、脑功能激活等的变化, 这一现象被称为认知可塑性 (cognitive plasticity) 和神经可塑性 (neural plasticity)。《Psychology and Aging》在 2008 年末专刊介绍了老年认知可塑性的各类研究 (Mayr, 2008), 表明“可塑性”已成为当前认知老化研究领域的一个新趋势。

从 Baltes 和 Willis 1982 年提出“认知可塑性”概念伊始, 针对老年人的各类认知干预研究不断涌现, 如对记忆、推理、加工速度等的训练。近年来, 随着执行功能及相关理论的提出, 执行功能成为认知干预的一个新的目标能力, 对工作记忆和各种执行功能进行认知训练和干预的研究正逐渐成为一个新的研究热点。2008 年的认知老化大会 (Cognitive Aging Conference) 对执行

功能的认知干预作为一个专题进行了探讨。

### 1 执行衰退假说与执行功能的可塑性

执行功能(Executive Function)是大脑最高级的认知活动, 负责对各种具体的认知加工过程进行控制和协调, 一直是神经心理学、认知心理学以及认知神经科学研究的一个热点 (Collette, Hogge, Salmon, & Van der Linden, 2006; 周晓林, 2004)。额叶(特别是前额叶)是执行功能重要的物质基础, 相对于其它脑区, 额叶随增龄的衰退更快 (Raz, 2000, 2004)。由此一些研究者提出执行衰退假说 (executive decline hypothesis of cognitive aging), 认为执行 (额叶) 功能的随增龄衰退是引起人们日常认知功能(记忆、推理、视觉空间能力)衰退的主要原因 (West, 1996; 陈天勇, 韩布新, 罗跃嘉, 李德明, 2004)。近年来, 执行功能在认知可塑性和神经可塑性研究领域也引起了高度重视。如果认知老化主要源于执行功能的随增龄衰退, 并且老年人的执行功能存在可塑性, 那么针对执行功能的认知干预就可能达到事半功倍的效果。

越来越多的研究表明, 执行功能并不是单一结构的认知系统, 即存在多种不同的执行功能, 如记忆更新、注意转换、双任务协调、抑制优势反应等 (Collette & Van der Linden, 2002; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000; 陈天勇, 李德明, 2005)。近年来, 研究者对上述几种

收稿日期: 2010-01-03

\* 中国科学院优博科研启动专项资金(2010-2012)资助项目。

通讯作者: 陈天勇, E-mail: chenty@psych.ac.cn

执行功能的可塑性分别进行了研究。不同执行功能的可塑性及认知训练的可迁移性是否存在差异,这也是本综述关心的一个核心问题。

## 2 执行功能认知可塑性的实证研究

个体通过训练提高了在目标认知任务上的行为表现,就训练本身而言即表明训练效应(training effects)的存在,就接受训练的个体而言即表明个体有认知可塑性。也就是说,对老年人的执行训练存在训练效应,也就表明了老年人的执行功能具有可塑性。另一方面,当评定一项认知训练的有效性时,还应检测由训练带来的目标能力的改善能否运用到一个新的任务情境中,也就是训练的迁移效应(transfer effects)。一般可将迁移划分为两种类型:近迁移与远迁移(Karbach, 2008)。简单而言,近迁移(near transfer)指的是迁移任务与训练任务涉及能力相同;远迁移(far transfer)指的是迁移任务与训练任务所涉及的认知能力不同,或者是对日常生活能力的迁移。此外,训练效应及迁移效应的保持(maintenance)情况对于评定认知训练也很重要。

### 2.1 工作记忆和记忆更新 (Memory Updating)

工作记忆在学习、阅读和问题解决等高级认知活动中发挥着重要的作用,它负责各种认知加工的执行和控制,同时负责对相关信息的暂时存储,记忆更新则根据任务的需要使工作记忆的内容不断更新,纳入有用的新信息,抛弃无用的旧信息。如读报时,需要对阅读的内容进行加工和存储,同时不断地更新工作记忆中的内容。研究发现,工作记忆与记忆更新能力关系密切(Miyake et al., 2000),工作记忆或记忆更新能力都存在老化现象(Salthouse, 1994; 彭华茂, 张凌, 申继亮, 2009)。实际上,在对工作记忆进行训练的研究中,通常使用n-back或动态记忆任务这些记忆更新的范式。

Li 等人(2008)使用两种难度水平的空间工作记忆(2-back)任务进行训练,结果发现,经过45天(15分钟/天)的训练后,青年组和老年组在两类训练任务上的成绩均有所提高,而且在较难条件下两组的训练获益更多,且老年组的绝对获益量大于青年组。其中老年组在正确率上提高了30%(从58%提高到88%),在反应时上改善了近一倍(从1450ms减少至700ms)。虽然老年组经过训练达到的最好成绩依旧低于青年组,但能够达到后

者训练前的基线水平。在训练迁移方面,发现老年组训练后在空间3-back任务和数字2-back、3-back任务上的成绩有显著提高,但没有发现对工作记忆广度任务的远迁移。这些训练效应与迁移效应在3个月后的测查中仍然存在,但较之青年组,老年组的保持量有更大程度的减少,作者认为如果在集中训练结束后再对老年组进行一些恢复性训练,可能会有利于其训练获益的长期保持。

近年来,一些研究者开始采用适应性训练(adaptive training)对老年人进行认知干预,即在整个训练过程中,根据个体能力来不断灵活调节训练任务难度。Brehmer, Westerberg 和 Bäckman (2008)认为,相对于难度水平固定的认知训练,这种适应性训练能够产生更显著的训练效应。Buschkuehl 等人(2008)使用这种训练方式对老年组进行了12周的(45分/阶段,每周2阶段)的训练,发现老年组在三个工作记忆任务上均有显著的训练效应,但因在各任务上策略使用的差异以及任务难度的影响,高龄老人在三个任务上的训练获益程度不同,成绩提高量分别为44%、62%及15%。且在空间工作记忆广度任务(近迁移)及视觉情景记忆任务(远迁移)上的成绩分别提高了21.3%和25%。但在后继一年的测查中没有发现训练效应及迁移效应的保持。这一研究结果改变了以往认为高龄老人学习新技能的潜力非常有限的观点(Singer, Lindenberger, & Baltes, 2003),说明即使80岁高龄老人的工作记忆同样存在一定的可塑性。

Dahlin, Nyberg, Bäckman 和 Neely (2008)同样使用适应性训练方式,采用四类动态记忆任务(running memory task)(任务刺激分别为数字,字母,颜色,空间位置)进行为期5周(45分/阶段,每周3阶段)训练。结果显示,老年组与青年组在四类动态记忆训练任务上均能够达到最高难度水平,两个年龄组的训练获益量相当;在用来测定训练效果的字母记忆任务上,老年组经过训练后能够成功回忆出更多的系列数,由训练前的1个系列增长到5个系列;虽然老年组不如青年组的改善幅度大,但训练后的成绩已高于青年组训练前的基线水平;在18个月后的测查中,训练组老年人的工作记忆水平依然能够高于青年组的基线水平,说明训练结束的18个月内,执行功能

的可塑性仍能保持,并不是一个短暂的现象。但在迁移方面,两个年龄组在计算广度、情节记忆、推理等任务上的成绩均没有显著提高,只发现在青年组对数字 3-back 任务的有限近迁移,而老年组没有出现任何迁移效应。

## 2.2 注意转换(Attention Switching)

也可称为任务转换(Task Switching),体现为对多个任务或认知操作之间相互转换的控制过程。日常生活中需要同时或连续处理多种任务,这就要求在不同的任务之间进行快速、频繁的任务转换,因而注意转换能力也是影响老年人日常生活质量的重要因素。注意转换能力通常用任务转换范式来研究,一般包括两类组块:单一组块(始终执行同一种任务,如 AAAA... 或 BBBB...)和转换组块(交替执行多种任务,如 AABBAABB...),转换组块比单一组块反应更慢,错误更多,这种成绩差异就是一般转换代价(general switch cost),反映的是对两种任务规则的保持和任务转换能力;转换组块中转换项目(如 AABBAABB...)与非转换项目(如 AABBAABB...)的成绩差异就是特殊转换代价(specific switch cost),反映的只是在两个任务间的转换能力。一般来说,在特殊转换代价上不存在年龄差异,而在一般转换代价(即通常意义上的转换代价)上,老年人明显高于青年人(Kray & Lindenberger, 2000),但这种年龄差异可以通过训练降低或消除。

Buchler, Hoyer 和 Cerella (2008) 进行的注意转换训练中设置的转换任务并不限于两个,有 4 类两位数的数字运算任务。训练任务为对这 4 类任务不同组合的转换,任务组合可设置为 2 个(如加法转换为大数减 1)、3 个或 4 个。在完成 5 天的训练后,老年组在训练各阶段的任务成绩不断改善,甚至当要求执行 4 个任务的转换作业时,与青年组在转换代价上的年龄差异也消失了。这个结果类似于 Kramer, Hahn 和 Gopher (1999) 使用任务线索范式进行任务转换训练的结果,经过训练后老年组和青年组的转换代价相等,说明老年组的转换代价有更大的减少,且这种训练获益可以持续两个月。

还有一些研究在训练中使用到口头自我指导(Verbal Self-Instructions)策略,即在任务准备期说出下一个任务目标。Kray, Eber 和 Karbach

(2008)发现这种策略的使用可使老年人的转换代价有更大幅度的降低,作者解释因语言对动作控制有着调控功能,能够将注意集中到与任务相关的信息上,所以老年人可以利用这种言语化策略来弥补在任务加工上的缺陷。Karbach (2008) 发现在完成 4 个阶段交替转换范式的任务转换(客体辨别与数量判断)训练后,使用口头自我指导训练策略的老年组在训练任务上的特殊转换代价从第 1 个训练阶段到第 4 个训练阶段的平均减少量为 66.7%,而未使用策略的老年组其特殊转换代价的平均减少量为 45.1%,Karbach 和 Kray (2009)也发现了相同的结果。在迁移效应方面,Karbach 发现迁移任务的一般转换代价有所改善,而且老年组在一般转换代价上的近迁移相比青年组更显著,此外还发现了在特殊转换代价上的近迁移效应(平均效应值 1.17),这一发现证实并扩展了 Mincar, Shah 和 Park (2002) 的研究结果;而且所有年龄组被试在 Stroop 任务、言语及视觉空间工作记忆任务和瑞文推理测验上的成绩都有所提高,说明任务转换训练的获益也可以远迁移到其他执行控制加工能力,如抑制、工作记忆,以及其他认知领域(如流体智力),这种迁移效应可以保持一年时间。

## 2.3 双任务协调(Dual-task Coordination)

双任务协调是指同时执行两项任务时分配注意资源的能力,例如狭路行走时进行记忆活动,开车的同时与人交谈等,而老年人普遍存在这种注意控制上的困难(Hasher, Lustig, & Zacks, 2007)。双任务协调能力通常用双任务亏损(dual task cost)来测查,即加工双重任务与加工两项单一任务的时间差异。与青年人相比,老年人存在更大的双任务亏损(Verhaeghen, Steitz, Sliwinski, & Cerella, 2003)。

在双任务训练研究中,众多研究者在训练过程中使用到两种不同的加工策略:可变优先加工(variable priority, VP)与固定优先加工(fixed priority, FP)。在 VP 条件下,要求被试对两个任务都尽快做出反应,这就需要不断地变换对两个任务的优先注意;在 FP 条件下,被试始终保持对某一任务的优先注意,如当两个任务同时呈现时,先对其中一项任务进行加工(Gopher, Weil, & Siegel, 1989)。Kramer 和 Larish 等人发现相比 FP 训练组,VP 组能够更快的掌握训练任务,有更多

的训练获益(如反应时改善上, VP组 30.8%, FP组 16.6%), 而且 VP 策略能够大大降低老年组和青年组在双任务加工上的年龄差异, 如 VP 组在反应时上的年龄差异降低了 32.5%(224~151ms), 而 FP 组的年龄差异反而增加了 10.3% (217~242ms), 即表示 VP 老年组有更多的训练获益, 而当时大多研究发现老年组的训练获益少于青年组或两者获益相当, Kramer 等人的这个结果可以说是一个新的发现; 而且 VP 组对新的任务情境有更多的迁移, 如在迁移任务正确率的改善上, VP 组提高了 47%, 而 FP 组仅提高了 12.3%, 且这些训练获益的保持可维持 45~60 天(Kramer, Larish, & Strayer, 1995; Kramer, Larish et al., 1999)。VP 策略的优势同样也体现在姿势-认知双任务训练中, 研究发现 VP 组的老年被试在步速上有更大改善, 且只有 VP 组的训练效应能够保持 3 个月(Silsupadol et al., 2009)。

Bherer 等人(2005)使用两个简单的辨别任务作为训练任务, 如高低音辨别(440Hz 或 990Hz, 听觉任务)与字母确认任务(B 或 C, 视觉任务), 结果发现老年组与青年组的双任务亏损都有所下降, 两组在反应时上训练获益相当; 在正确率指标上, 老年组表现出更好的成绩改善, 且老年组经过对视听任务组合的训练后, 在新的相同刺激模式的视听组合及不同刺激模式的视视组合两类迁移任务上的双任务亏损分别减少 30%和 25%, 且这种训练获益在训练结束一个月后依然存在, 在随后 2006 与 2008 年的研究中也同样发现老年组注意控制能力存在可塑性。但是 Bherer 等人的系列研究并没有发现 VP 与 FP 这两种加工策略的差异, 与 Kramer 等人的研究结果不一致。

可以看出, VP 训练策略的有效使用依赖于训练任务的难度水平, 训练任务难易度的不同会造成训练结果上的差异。相比 Kramer 等人研究中较复杂的训练任务(监测任务与字母数字任务), 使用简单的辨别任务进行训练(如 Bherer 等人的系列研究)就很难表现出 VP 策略的优越性, 但同时还应注意, 训练任务越复杂也不利于老年人从训练中获益 (Maquestiaux, Hartley, & Bertsch, 2004), 如 Gothe, Oberauer 和 Kliegl (2007) 使用两个不同类型的连续记忆更新任务进行双任务训练, 训练任务本身具有较高的工作记忆负荷量, 最终没有发现老年组的训练获益。而且, 研究发

现老年人在双任务加工中使用了保守的执行控制策略, 更重视正确率而非速度, 即便长时间的练习后, 还是以较慢的加工速度为代价来保证任务加工上较高的正确率。所以对于老年人来说, 还应在训练过程中给予策略指导, 鼓励其使用更大胆的加工策略。

#### 2.4 抑制优势反应 (Inhibition of Proponent Responses)

同样, 在任务完成过程中能够排除干扰也是一项重要的注意控制能力。这里所讲的抑制主要强调对优势行为(习惯、熟悉或正在进行的动作)的积极的、有意的抑制, 是一种内源性的行为控制。研究发现, 老年人的抑制能力有所衰退 (Hasher & Zacks, 1988; Hasher, Zacks, & May, 1999), 比如在干扰环境下很难将注意力集中在阅读上, 或是由于难以抑制与当前任务无关的信息, 在谈话中出现更多脱离目标的絮叨。

目前对老年人抑制训练的研究很少, 仅有少量的研究发现老年人抑制的认知可塑性。Stroop 色词测验是测量抑制能力的经典范式。同青年组相比, 老年组有较大的 Stroop 干扰效应, 但经过色词干扰任务的练习后, 两组的抑制能力均有所改善, 虽然练习之后依然存在 Stroop 干扰效应, 但在 Stroop 干扰量的大小变化上, 老年组在反应时上的绝对获益量(72ms)较高于青年组(25ms) (Davidson, Zacks, & Williams, 2003)。老年组在经过 3 周信号抑制任务 (stop-signal task) 训练后, 在另外两项抑制测验(Stroop 色词测验和 Hayling 补句测验)上的成绩能够有所改善 (Lyrette, Langlois, & Bherer, 2008)。而且除认知训练外, 抑制能力也可通过身体锻炼来改善。在经过十个月身体锻炼后, 老年组在 Stroop 色词测验上的成绩有显著改善, 且在反应时(效应值为 0.93)和正确率(效应值为 0.72)上的改善幅度都很大 (Smiley-Oyen, Lowry, Francois, Kohut, & Ekkekakis, 2008)。可见执行控制能力可通过认知训练或身体锻炼来改善, 但是这些获益是否是由同一潜在机制(或某一特定大脑部位)调节还需进一步研究(Kramer & Willis, 2002)。

### 3 神经可塑性的实证研究

除了在行为水平上表现出来的认知可塑性, 其他研究者利用各种技术手段, 如功能性核磁共振(fMRI)、结构性核磁共振(MRI)或扩散张量成像

(DTI)、磁共振波谱分析(MRS)等,分别在脑的功能水平、结构水平(灰质或白质)、以及分子水平(如神经递质)上发现了训练相依的神经可塑性。

目前神经可塑性研究较多关注在功能水平上。Olesen, Westerberg和Klingberg(2004)以青年人为被试进行5周的视觉空间工作记忆训练,研究发现被试额中回及顶上小叶与顶下小叶脑区的激活增加,这一皮层活动的变化说明训练可以引起工作记忆神经基础的可塑性,Westerberg和Klingberg(2007)进而发现这种激活的变化并非是额外脑区的激活,而只是已激活脑区在激活程度上的小幅增长。Dahlin, Neely, Larsson, Bäckman和Nyberg(2008)的研究发现了青年组经记忆更新任务训练后前额叶激活的降低。但青年人经训练引起的神经激活的变化并不限于在激活程度上简单地增加或降低。Erickson等人(2007a)在对青年组进行双任务训练(颜色辨别与字母确认)后,被试在行为指标上的成绩有所改善,且之前被激活的右腹侧前额叶(VLPFC)经训练后激活程度显著下降;而背侧前额叶(DLPFC)某区经训练后激活程度增强,训练引起了与双任务加工相关脑区在激活位置上的“转移”,这种转移可能表示认知训练引发了大脑皮层功能的重组,从而得以改善任务加工上的表现。

随后Erickson等人(2007b)考察训练引发神经可塑性这个结果能否扩展到执行失调或有执行缺陷的老年群体中,结果发现老年组在DLPFC脑区激活降低,青年组激活增加,两者在激活程度上出现趋同,这表明老年组可能学会了在任务协调中更有效的使用该脑区;老年组在VLPFC脑区激活的非对称性(即单侧化优势)增强,具体来看,老年组左侧VLPFC激活增强,这个区域靠近布洛卡区,表明老年组增加了对外部言语或内部言语化策略的依赖。Brehmer等人(2008)发现经过工作记忆训练后,老年组在任务相关脑区(额、顶、颞)的激活下降,表明训练可以改善老年组的脑功能及神经效率。在这些研究中,训练所引起的脑区激活程度的改变都可发生在最易随增龄而出现萎缩的前额叶,从而表明,在这些脑区出现的年龄相关的功能衰退并不是老化必然的过程,可以通过训练有效地减缓甚至逆转。

另外,从神经可塑性角度也可解释存在于迁移效应上的年龄差异,从上部分可以看出老年人

存在一些积极的迁移效应,但相对于青年人,老年人的迁移效应还较少。研究发现老年人训练迁移的产生会因年龄相关的脑功能衰退而受到限制。已有研究表明更新加工与纹状体有关,Dahlin等人(2008)发现,青年组在训练后加工字母记忆任务(同训练任务)和3-back任务(近迁移任务)时其左侧纹状体出现了激活程度的增强;老年组在训练前纹状体激活不显著,在训练后只在加工字母记忆任务时的激活程度有所增加,但是在3-back任务上激活程度没有出现显著的改变,结合行为指标,只有青年组出现了在3-back任务上的近迁移效应,研究者由此认为老年组在更新训练中迁移效应的局限性可能反映了老化过程中纹状体的功能缺陷。

除了脑功能水平上的神经可塑性,近来研究发现经过锻炼或技能学习,成人脑依然可以发生结构上的变化。在经过6个月的有氧锻炼后,老年组的前额叶、颞叶及顶叶的灰质和白质容量增加,而青年组却没有显著变化(Colcombe et al., 2003; Colcombe et al., 2006),而且老年组的这种锻炼获益减少了脑容量萎缩的风险,在前扣带皮层(ACC/SMA)、右颞上回(rtSTG)、右侧额中回(rtMFG)与白质前连合(AWM)分别降低了42.1%, 33.7%, 27.2%与27.3%。此外,在经过三个月甚至短暂一周的接抛球杂耍训练后,学习杂耍者在主要负责运动信息存储与加工处理的脑区(如颞中区、顶内沟)的灰质容量均出现了显著的双边扩展(Draganski et al., 2004; Driemeyer, Boyke, Gaser, Büchel, & May, 2008),老年组也能出现相同的生长(Boyke, Driemeyer, Gaser, Buchel, & May, 2008),且大脑白质也可随训练发生增长(Scholz, Klein, Behrens, & Johansen-Berg, 2009)。这些结果均表明,成人可通过锻炼引发神经可塑性,大脑神经系统的神经信号传导速度得以提高进而改善了行为表现,对于老年人来说,随老化出现的大脑结构萎缩(Raz, 2000)也可得到一定程度的缓解。

而且,对神经可塑性的研究还可深入到脑的分子这一细微层次,如与工作记忆关系最密切的中枢多巴胺系统。McNab等人(2009)发现在经过14个小时的工作记忆训练后,伴随着工作记忆能力的提高,被试的前额和顶叶皮层区的多巴胺D1受体发生了变化,多巴胺D1受体系统的这一

可塑性表明了认知活动与大脑生化成分的相互作用。在另一项研究中, Valenzuela 等人(2003)发现经过记忆训练的老年组其海马区的神经生化发生变化, 胆碱与肌酸这两类能量代谢物质的信号值升高, 表现为神经元能量提高, 这有利于突触信号的传递。

#### 4 研究评述与展望

就目前对各项执行功能训练而言, 可以发现老年人能够通过训练提高相应的目标能力, 表明了老年执行功能认知可塑性的存在。一般情况下, 老年人的绝对训练获益量相比青年人更高, 原本在任务加工上的年龄差异降低甚至消失, 而且在工作记忆训练研究中还可发现老年组在训练后能够达到甚至超过青年组训练前的基线水平。现有研究发现老年组对这些训练获益的保持在几个月后的测查中依然存在, 甚至可达 18 个月之久, 但老年组认知可塑性的保持还是相对有限的, 有时可能还需要一定量的恢复训练来维持有限的可塑性。

在训练迁移方面, 目前四类执行功能表现出的可迁移性存在一定的差异。如在记忆更新、双任务协调和抑制能力的训练上, 老年人只出现了很少的近、远迁移, 这与之前大多训练研究的结果一致。以往研究发现大多认知训练产生的迁移很少, 或者只是特定于训练任务或特定于某一认知加工上的有限的近迁移(Ball et al., 2002; Willis et al., 2006)。不过可喜的是, 研究发现对注意转换的训练可改善抑制能力、工作记忆与智力(Karbach, 2008), 这一结果说明对老年人进行某些执行功能的训练可使整体的认知功能得以提高, 体现出这种认知训练的相对优越性。这种在可迁移性上的差异也反映了认知训练研究中的一个普遍问题, 即各项认知能力在训练的难易度上是有差别的, 哪种认知功能可训练且可迁移到其他能力或行为上的程度是不同的(Thorell, Lindqvist, Bergman Nutley, Bohlin, & Klingberg, 2009)。但是, 目前对老年执行功能训练可迁移性的研究还很缺乏, 部分执行功能训练是否真的没有远迁移效应值得进一步研究。例如, 就双任务和抑制的训练而言, 现有研究更多关注训练的近迁移, 未来研究应对训练的远迁移投入更多的关注; 在工作记忆或记忆更新的训练上, 现有研究大多发现对 n-back 任务的训练并没有出现对智

力的远迁移, 而已有研究发现对青年组的双 n-back 训练可改善其智力(Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008), 另一方面, 工作记忆广度与智力关系密切(Ackerman, Beier, & Boyle, 2005), 那么对老年人进行工作记忆广度的训练是否能够迁移到智力的提高上也值得进一步研究。

在对训练方案的优化上, 首先, 新的训练方式或训练策略的使用能够促进训练效应的产生, 如老年人在灵活设定和调整任务加工顺序(task priority)时有困难, 而可变优先加工策略就指向老年人的这种加工缺陷, 从而老年人可以从训练中有更多获益。也就是说, 针对老年人尚存但不能有效运用的功能进行训练, 可能是促进训练和迁移的有效方法(Bissig & Lustig, 2007)。其次, 应该注意到各种策略在迁移效应(尤其是近迁移)上的差异。如言语化策略或自适应训练并没有促进迁移的产生, 而任务的多样性就可以促进迁移的产生(Schmidt & Bjork, 1992), 这是众多研究者普遍认同的学习或训练的原则, Karbach (2008) 的实证研究结果也与之一致, 但应注意, 在对执行功能的训练上, 除了受训练目标能力的影响, 这种策略的有效使用也可能受到任务难度的限制, 在 Dahlin 等人(2008)研究中使用的训练任务为 4 类动态记忆任务, 该研究中的任务多样性却没有支持对迁移的促进作用。所以在未来研究中, 要注意不管是对训练效应还是对迁移效应的促进上, 训练目标能力及其任务难度都可能会影响到训练策略的有效使用。

目前对执行功能神经可塑性的研究较少, 但现有的研究发现, 认知训练可改变任务相关脑区的脑功能, 身体锻炼或技能训练可增加大脑灰质和白质容量, 而且训练还可使大脑生化成分发生变化从而改善神经效率。老化的脑可积极应对“衰老”, 这是近年来对老年神经可塑性从理论探索或实证研究上所达成的共识, 虽然专门针对老年执行功能神经可塑性的实证研究有限, 但从脑机制上看, 前额叶萎缩最多, 但可塑性也最强(Greenwood, 2007), 所以在着重考察执行功能认知可塑性的同时, 也可加强对神经可塑性多层次的系统研究, 探究执行功能训练在脑的功能、结构及神经递质上对任务加工行为的作用, 从而全面了解训练与脑、认知的相互作用。

老年执行功能可塑性研究还具有重要的理论意义,可对现有的认知老化理论进行支持或验证。例如,如果对执行功能的训练能够提高老年人的日常认知功能,就可以为执行衰退假说提供有力的实验证据的支持。如果对抑制能力的训练能够提高老年人的工作记忆能力,就可以为抑制控制理论(Hasher & Zacks, 1988; Hasher et al., 1999)提供有力的支持,该理论认为,由于抑制能力衰退,一些无关因素更容易进入到工作记忆中,使其效率降低,从而导致其他认知能力的衰退。

认知训练所追求的目标是能够改善老年人的日常生活能力,但就现有的执行训练研究,大多是采用实验室测验来评定迁移效应,对日常生活能力的远迁移效应的考察还很匮乏,这种执行功能训练的生态学效度还应作为未来研究重点关注的课题。一方面可以在执行训练结果评定中加入测定日常生活能力的相关指标。如记忆训练的结果评定中设计了生态学任务,如购物清单回忆、周计划活动记忆、面孔-名字记忆等测验(Cavallini, Pagnin, & Vecchi, 2003),或加工速度训练中有对日常驾车行为的测定(Ball, Edwards, & Ross, 2007);另一方面,探索有生态学效度的执行功能训练任务或训练形式也是一个研究途径。以往众多记忆研究发现,老年人很难将训练中的记忆策略迁移到日常生活中去(Rebok, Carlson, & Langbaum, 2007),但是如果记忆训练任务本身具有生态学效度(如用分类策略来指导记忆购物清单),还是可以发现对日常认知活动的积极改善(Ball et al., 2002)。

总的看来,可塑性的研究是认知老化研究领域的一条新的思路。对老年人的执行训练研究使我们发现了老年执行功能的认知可塑性和神经可塑性的存在,同时执行训练的迁移效应为执行功能训练事半功倍的训练效果提供了直接证据。更重要的是,对老年人执行功能可塑性的系列研究符合当下倡导的“积极老龄化”的理念,使老年人积极应对衰老,提高心理适应性,维持他们生活的自主性和生活质量,并最终减轻老龄化对家庭和社会造成的负担。

#### 参考文献

陈天勇, 韩布新, 罗跃嘉, 李德明 (2004). 认知老化与执行衰退假说. *心理科学进展*, 12(5), 729-736.  
陈天勇, 李德明 (2005). 执行功能可分离性及与年龄关系

的潜变量分析. *心理学报*, 37(2), 210-217.

彭华茂, 张凌, 申继亮 (2009). 工作记忆中央执行功能的老化研究. *心理科学*, 32(1), 67-70.

周晓林 (2004). 执行控制: 一个具有广阔理论前途和应用前景的研究领域. *心理科学进展*, 12(5), 641-642.

Ackerman, P., Beier, M., & Boyle, M. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131, 30-60.

Ball, K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., Morris, J. N., Rebok, G. W., Smith, D. M., Tennstedt, S. L., Unverzagt, F. W., & Willis, S. L. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults - A randomized controlled trial. *Jama-Journal of the American Medical Association*, 288(18), 2271-2281.

Ball, K., Edwards, J. D., & Ross, L. A. (2007). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday functions. *The Journals of Gerontology*, 62 (Special 1), 19-31.

Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1988). On the range of cognitive plasticity in old age as a function of experience: 15 years of intervention research. *Behavior Therapy*, 19(3), 283-300.

Bherer, L., Kramer, A., Peterson, M., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2005). Training effects on dual-task performance: Are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychology and Aging*, 20(4), 695-709.

Bherer, L., Kramer, A., Peterson, M., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2008). Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: Further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Experimental Aging Research*, 34(3), 188-219.

Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: Application to attentional control. *Acta Psychologica*, 123(3), 261-278.

Bissig, D., & Lustig, C. (2007). Who benefits from memory training? *Psychological Science*, 18(8), 720-726.

Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Buchel, C., & May, A. (2008). Training-induced brain structure changes in the elderly. *Journal of Neuroscience*, 28(28), 7031-7035.

Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. (2009, May). Working memory training in old age: Behavioral and brain plasticity. In Blaye, A., & Kray, J. (Chair), Lifespan development of executive control. Workshop conducted at the meeting of Saarland University, Saarbrücken, GER.

Buchler, N. G., Hoyer, W. J., & Cerella, J. (2008). Rules and more rules: the effects of multiple tasks, extensive training, and aging on task-switching performance. *Memory and Cognition*, 36(4), 735-748.

- Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M., Hutchison, S., Perrig-Chiello, P., Däpp, C., Müller, M., Breil, F., Hoppeler, H., & Perrig, W. J. (2008). Impact of working memory training on memory performance in old-old adults. *Psychology and Aging, 23*(4), 743–753.
- Cavallini, E., Pagnin, A., & Vecchi, T. (2003). Aging and everyday memory: the beneficial effect of memory training. *Archives of Gerontology and Geriatrics, 37*(3), 241–257.
- Colcombe, S., Erickson, K., Raz, N., Webb, A., Cohen, N., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *Journals of Gerontology Series A: Biological and Medical Sciences, 58*(2), 176–180.
- Colcombe, S., Erickson, K., Scalf, P., Kim, J., Prakash, R., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *Journals of Gerontology: Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 61*(11), 1166–1170.
- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E., & Van der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience, 139*(1), 209–221.
- Collette, F., & Van der Linden, M. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 26*(2), 105–125.
- 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.
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., & Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Aging, Neuropsychology & Cognition, 10*(2), 85–98.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature, 427*(6972), 311–312.
- Driemeyer, J., Boyke, J., Gaser, C., Buchel, C., & May, A. (2008). Changes in gray matter induced by learning—revisited. *PLoS ONE, 3*(7), e2669.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., Kim, J. S., Alvarado, M., & Kramer, A. F. (2007a). Training-induced functional activation changes in dual-task processing: An fMRI study. *Cerebral Cortex, 17*(1), 192–204.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., Kim, J. S., Alvarado, M., & Kramer, A. F. (2007b). Training-induced plasticity in older adults: Effects of training on hemispheric asymmetry. *Neurobiology of Aging, 28*(2), 272–283.
- Gopher, D., Weil, M., & Siegel, D. (1989). Practice under changing priorities: An approach to the training of complex skills. *Acta Psychologica, 71*(1–3), 147–177.
- Gothe, K., Oberauer, K., & Kliegl, R. (2007). Age differences in dual-task performance after practice. *Psychology and Aging, 22*(3), 598–606.
- Greenwood, P. M. (2007). Functional plasticity in cognitive aging: Review and hypothesis. *Neuropsychology, 21*(6), 657–673.
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. In A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake, & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 227–249). New York, NY: Oxford University Press.
- Hasher, L., & Zacks, R. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 22, pp. 193–225). New York: Academic Press.
- Hasher, L., Zacks, R., & May, C. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and Performance XVII: Cognitive Regulation of Performance: Interaction of Theory and Application* (pp. 653–675). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- 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.
- Karbach, J. (2008). *Potential and limits of executive control training: age differences in the near and far transfer of task-switching training*. Unpublished doctoral dissertation, Universität des Saarlandes, GER.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science, 12*(6), 978–990.
- Kramer, A., & Willis, S. (2002). Enhancing the cognitive vitality of older adults. *Current Directions in Psychological Science, 11*(5), 173–177.
- Kramer, A. F., Hahn, S., & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging: explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica, 101*(2–3), 339–378.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: A comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 1*(1), 50–76.
- Kramer, A. F., Larish, J. L., Weber, T. A., Bardell, L., Gopher,



- D., & Koriat, A. (1999). Training for executive control: Task coordination strategies and aging. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application*. (pp. 617–652). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Kray, J., Eber, J., & Karbach, J. (2008). Verbal self-instructions in task switching: a compensatory tool for action-control deficits in childhood and old age? *Developmental Science, 11*, 223–236.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. *Psychology and Aging, 15*(1), 126–147.
- 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.
- Lyrette, J., Langlois, F., & Bherer, L. (2008, April). *Transfer effects to clinical neuropsychological tests after cognitive training for attentional control in older adults*. Paper presented at the 2008 Cognitive Aging Conference, Atlanta, GA.
- Maquestiaux, F., Hartley, A., & Bertsch, J. (2004). Can practice overcome age-related differences in the psychological refractory period effect. *Psychology and Aging, 19*(4), 649–667.
- Mayr, U. (2008). Introduction to the Special Section on Cognitive Plasticity in the Aging Mind. *Psychology and Aging, 23*(4), 681–683
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forsberg, H., & Klingberg, T. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science, 323*(5915), 800–802.
- Minear, M., Shah, P., & Park, D. (2002, April). *Age, task switching, and transfer of training*. Poster session presented at the 9th Cognitive Aging Conference, Atlanta, GA.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49–100.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience, 7*(1), 75–79.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. *The handbook of aging and cognition, 2*, 1–90.
- Raz, N. (2004). The aging brain: Structural changes and their implications for cognitive aging. *New frontiers in cognitive aging, 115–133*.
- Rebok, G. W., Carlson, M. C., & Langbaum, J. B. (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: traditional and novel approaches. *The Journals of Gerontology, 62 Special 1*, 53–61.
- Salthouse, T. (1994). The aging of working memory. *Neuropsychology, 8*(4), 535–535.
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological Science, 3*(4), 207–217.
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience, 12*(11), 1370–1371.
- Silsupadol, P., Shumway-Cook, A., Lugade, V., van Donkelaar, P., Chou, L.-S., Mayr, U., &
- Woollacott, M. H. (2009). Effects of single-task versus dual-task training on balance performance in older adults: A double-blind, randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 90*(3), 381–387.
- Singer, T., Lindenberger, U., & Baltes, P. (2003). Plasticity of memory for new learning in very old age: a story of major loss? *Psychology and Aging, 18*(2), 306–317.
- Smiley-Oyen, A., Lowry, K., Francois, S., Kohut, M., & Ekkekakis, P. (2008). Exercise, fitness, and neurocognitive function in older adults: The “selective improvement” and “cardiovascular fitness” hypotheses. *Annals of Behavioral Medicine, 36*(3), 280–291.
- Thompson, G., & Foth, D. (2005). Cognitive-training programs for older adults: What are they and can they enhance mental fitness. *Educational Gerontology, 31*(8), 603–626.
- 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*, 106–113.
- Valenzuela, M., Jones, M., Wen, W., Rae, C., Graham, S., Shnier, R., & Sachdev, P. (2003). Memory training alters hippocampal neurochemistry in healthy elderly. *Neuroreport, 14*(10), 1333–1337.
- Verhaeghen, P., Steitz, D. W., Sliwinski, M. J., & Cerella, J. (2003). Aging and dual-task performance: a meta-analysis. *Psychology and Aging, 18*(3), 443–460.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin, 120*(2), 272–292.
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory — a single-subject analysis. *Physiology & Behavior, 92*(1), 186–192.

Willis, S. L., Tennstedt, S. L., Marsiske, M., Ball, K., Elias, J., Koepke, K. M., Rebok, G. W., Unverzagt, F. W., Stoddard, A. M., & Wright, E. (2006). Long-term effects of cognitive training on everyday functional outcomes in older adults. *JAMA: Journal of the American Medical Association*, 296(23), 2805–2814.

## Cognitive and Neural Plasticity of Executive Functions among Older Adults

DU Xin<sup>1,2,3</sup>; CHEN Tian-Yong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Center on Aging Psychology, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

<sup>2</sup> Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

<sup>3</sup> Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Executive decline hypothesis suggests that the unique loss of executive function is the main cause of cognitive aging. However, a growing body of literature had demonstrated a remarkable plasticity in executive functions and its related brain areas (mainly prefrontal cortex) among older adults. Age-related decline in executive function could be reduced through cognitive training, and the activation, structure (volume) and neurotransmitters of related brain areas could be altered. Some studies also suggested the benefits of executive function training could be transferred to other cognitive functions. All these findings have great significance for the deeper exploration of cognitive aging theories and the practical applications of cognitive intervention.

**Key words:** executive function; older adults; cognitive plasticity; neural plasticity; transfer effects