

执行功能训练与执行功能可塑性

闫莹莹, 杨钰, 程凌

武汉大学发展与教育心理研究所, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年2月9日; 录用日期: 2023年3月14日; 发布日期: 2023年3月24日

摘要

研究发现, 执行功能具有可塑性, 可以通过认知训练的方式得到提高。本文对近年来关于执行功能认知训练的研究成果进行梳理, 总结了: 1) 执行功能训练的内容, 包括训练对象、训练任务、训练时间; 2) 执行功能训练的效果, 包括训练效应、近迁移效应、远迁移效应以及长期效应; 3) 执行功能训练的影响因素; 4) 执行功能训练的机制, 即执行功能可塑性的机制。最后, 对未来的研究方向进行了展望。

关键词

执行功能训练, 执行功能可塑性, 认知训练

Training and Plasticity of Executive Function

Yingying Yan, Yu Yang, Ling Cheng

Institute of Developmental and Educational Psychology, Wuhan University, Wuhan Hubei

Received: Feb. 9th, 2023; accepted: Mar. 14th, 2023; published: Mar. 24th, 2023

Abstract

Studies suggest that executive function can be improved by cognitive training. The present paper sorts out the existing research of executive function training, and summarizes: 1) the content of executive function training including training objects, training tasks, and training time; 2) the effect of executive function training, including training effect, near transfer effect, far transfer effect, and long-term effect; 3) factors Influencing Executive Function Training; 4) the mechanism of executive function training, that is, the mechanism of executive function plasticity. Finally, based on the existing research, the future research direction is prospected.

Keywords

Executive Function Training, Executive Function Plasticity, Cognitive Training

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

执行功能(executivefunction, EF), 也被称为认知控制或执行控制, 是一种高级的认知功能。执行功能通常被定义为个体为了达到特定的目标, 对认知过程及个体情绪、行为等进行协调和控制的能力(Garon, Bryson, & Smith, 2008)。

执行功能有三个核心成分: 工作记忆(working memory, WM), 抑制控制(inhibition control)和认知灵活性(cognitive flexibility)。工作记忆是在头脑中保持、更新和操纵信息的能力, 抑制控制是抑制自动和优势反应的能力, 认知灵活性是在多个任务、思维和视角之间进行切换的能力(Diamond, 2013; Miyake et al., 2000)。其中, 工作记忆和抑制控制是执行功能的两个主要成分, 是认知灵活性的基础(Diamond, 2010)。其他的高级执行功能如推理、计划和问题解决等都是建立在这三个核心成分的基础之上的(Collins & Koechlin, 2012)。

执行功能对个体的终身发展起到重要作用。大量研究发现, 执行功能对个体的身心健康、学业成就、事业成功、人际关系以及生活质量等都有重要影响。而执行功能不足或受损则与学习障碍、注意缺陷多动障碍、破坏性行为障碍、物质滥用和成瘾、抑郁、强迫行为以及精神分裂症等密切相关(王翠萍, 2019)。

执行功能的重要性使得许多研究者试图通过各种途径来提升这一能力。相关研究证实, 执行功能具有可塑性, 在人的终身发展过程中执行功能都可以通过干预得到提升, 但其可塑性随着年龄的发展呈现下降趋势(Nguyen et al., 2019b; Zelazo & Carlson, 2012; Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Neely, 2008)。执行功能的可塑性使得执行功能干预展现出广阔的应用前景: 对儿童和青少年的执行功能进行干预, 有望实现更高水平的个体认知能力发展和身心发展; 对于老年人群体, 执行功能干预在一定程度上可以延缓认知老化的速度, 从而有助于预防和治疗由老化引起的痴呆症; 在表现出认知障碍的群体中, 执行功能也可以通过干预得到提升, 并有助于其认知能力及症状的改善(王祥鹏, 2018)。

目前, 提升执行功能的干预方法主要包括认知训练、神经反馈、无创脑刺激(如经颅直流电刺激)、体育活动、正念练习等(Diamond & Ling, 2020; 王祥鹏, 2018)。其中, 认知训练是得到最广泛使用的干预方法。近年来涌现出大量针对执行功能的某一种或几种核心成分进行认知训练的研究, 然而很少有人从执行功能训练总体的角度系统地回顾这些研究, 对执行功能训练的主要问题, 包括训练的内容、效果、影响因素及机制, 进行总结。因此, 本文将从这几个方面对近年来的研究进行梳理, 总结执行功能认知训练的研究成果。

2. 执行功能训练的内容

2.1. 训练对象

执行功能训练的研究对象涵盖儿童(Delalande et al., 2020; Scionti, Cavallero, Zogmaister, & Marzocchi, 2020; Kassai et al., 2019; 彭君等人, 2014)、成年人(Blacker, Negoita, Ewen, & Courtney, 2017; Soveri,

Antfolk, Karlsson, Salo, & Laine, 2017; 王祥鹏, 2018)和老年人(Nguyen et al., 2019a; Brehmer, Westerberg, & Bäckman, 2012), 还包括特殊群体如患有注意缺陷多动障碍(ADHD, Capodieci, Gola, Cornoldi, & Re, 2018)、孤独症谱系障碍(ASD, Pasqualotto et al., 2021)和学习障碍(Chen et al., 2018)等执行功能缺陷的群体。

2.2. 训练任务

目前, 执行控制认知训练使用的方法非常多。除了传统的纸笔训练方法, 近年来, 越来越多的研究使用计算机化认知训练(CCT)和视频游戏、虚拟现实等现代技术。计算机化认知训练是得到最广泛使用的认知训练方法, 许多研究采用计算机化的自适应训练任务, 自适应训练程序可以根据被试的能力水平而调整难度, 因而可以提供更灵活、个性化的训练。

根据不同训练任务主要针对的执行功能成分, 可以将训练任务分为三类: 工作记忆训练、抑制控制训练以及认知灵活性训练。其中, 得到最多研究的是工作记忆训练, 其次是抑制控制训练。本文将对这三类训练任务的经典范式进行总结。近年来执行功能认知训练研究中所采用的多样化的训练任务, 往往都是这些经典范式的变式或组合。

2.2.1. 工作记忆训练

N-Back 任务: N-Back 任务是工作记忆训练研究中最常用的训练任务(Blacker, Negoita, Ewen, & Courtney, 2017)。N-Back 任务给被试呈现一系列依次出现的刺激(如字母或数字), 要求被试判断当前刺激是否与第 N 个之前呈现的刺激相一致。N 是一个可变的数字, 可以通过调整 N 以增加或者降低任务难度。单一 N-Back 任务中的刺激以视觉形式或听觉形式呈现, 双重 N-Back 任务包含两种呈现形式, 相对于单一的 N-Back 任务是更为有效的训练形式。

工作记忆广度任务: 工作记忆广度任务是得到广泛认同的工作记忆容量指标, 也是常用的提高工作记忆容量的训练任务。在简单广度任务中, 被试需要在一个短暂的延迟间隔后回忆一个刺激列表(如数字或字母)。如果被试回忆正确那么将给予其更长的列表。基于简单广度训练任务的最广为人知的范式是 Cogmed 工作记忆训练任务, 作为一种计算机化的认知训练任务, Cogmed 工作记忆训练程序在执行功能训练研究中的使用度很高, 尤其是在患有 ADHD 的儿童中(王祥鹏, 2018; Chacko et al., 2013)。在复杂广度任务中, 被试不仅要记住简单广度任务中呈现的刺激, 还要在同时进行另一个不相关的次级任务(如数字运算)。

活动记忆任务: 活动记忆任务给被试呈现一系列未知长度的刺激串(如字母或数字), 要求其回忆最后呈现的几个项目。例如屏幕出现刺激依次为 K-Z-Y-U-I-N, 要求回忆最后三个项目, 那么被试的正确反应为 U-I-N。活动记忆任务需要被试持续记忆每一个新出现的刺激, 并且更新之前已经记忆的刺激。

2.2.2. 抑制控制训练

Stroop 任务: Stroop 任务及其变式在执行功能训练的研究中得到了广泛的使用。在经典的 Stroop 任务中, 被试需要对色词的颜色进行判断, 而色词的颜色与其意义可能是一致的(如红色的“红”字), 也可能是不一致的(如绿色的“红”字)。在不一致情况下, 会产生冲突效应, 即对词义的加工会对颜色命名造成干扰, 表现在反应时的增加和正确率的降低。经过训练后, Stroop 任务中的冲突效应会显著下降。如 Pozuelos et al. (2019)在以儿童为被试的研究使用了数字 Stroop 训练任务, 要求儿童在忽略数字尺寸大小的情况下对数字的数值大小做判断。

Go/no go 任务: Go/no go 任务是抑制控制训练中常用的任务(如, Pozuelos et al. 2019; Zhao, Chen, & Maes, 2018)。Go/no go 任务通常包含两种刺激, 一种是高频刺激, 另一种是低频刺激, 个体被要求只对高频刺激进行反应, 而对低频刺激不做反应。由于高频刺激的频繁出现, 个体对刺激的反应成为习惯化

过程,对低频刺激不做反应则成了对反应的抑制。因此,Go/no go 任务常用来训练个体对优势反应进行抑制的能力。

2.2.3. 认知灵活性训练

卡片分类任务:常用的有威斯康星卡片分类任务(WCST)和维度卡片分类任务(DCCS)。WCST 任务中的每张卡片都可以按颜色、形状或数字分类,被试需要在反馈的基础上推导出正确的分类规则,并在规则发生变化时进行灵活转换。而 DCCS 任务要求被试不仅仅能够运用规则实现分类任务,还需要在矛盾冲突的情况下实现规则间的灵活转换。

任务转换任务:许多研究使用任务转换范式对执行功能进行训练(王梓宇,孔子叶,朱荣娟,&游旭群,2019)。任务转换范式通常包括两个任务,被试需要根据指示在两个任务之间进行切换。如在 Karbach 和 Kray (2009)的研究中,任务 A 要求被试判断图片是水果还是蔬菜(食物任务),任务 B 要求被试判断图片是小还是大(尺寸任务),被试需要在任务 A 和任务 B 之间进行固定序列的任务转换。

2.3. 训练时间

在不同研究中,执行功能训练的时间有所不同,每次训练多在 15~60 分钟之间,训练次数多为每周 3~7 次,训练时间多在 4~12 周之间。例如,Delalande 等人(2020)的研究以儿童为被试,实施为期 5 周的抑制控制训练,一周 5 次,每次 15 分钟。

3. 执行功能训练的效果

一般而言,一项有效的认知训练应当促进训练任务自身表现的提升,不仅如此,还应当迁移到其他相关任务、其他认知能力中,而且这些获益应当维持较长的时间。

因此,本文将从以下四个方面考察执行功能训练的有效性:一、训练效应,即实验组相对于控制组在训练任务上的表现提升;二、近迁移效应,即对同一执行功能成分其他训练任务的迁移;三、远迁移效应,即对其他执行功能成分或其他认知能力的迁移;四、长期效应,即训练效果的稳定性。

3.1. 训练效应

研究结果表明,执行功能训练表现出明显的训练效应。执行功能训练能够显著提高被试在训练任务上的表现,这种效应普遍存在于使用不同的任务范式对不同的被试群体进行训练的研究中(Diamond & Ling, 2020)。

3.2. 近迁移效应

执行功能训练的近迁移效应得到了许多研究的支持。Kassai 等人(2019)的研究对儿童执行功能训练的研究进行元分析,所纳入的 16 项研究使用的被试包括正常儿童和诊断有 ASD、ADHD、学习障碍和执行功能缺陷的儿童,结果发现工作记忆训练、抑制控制训练以及认知灵活性训练都表现出显著的近迁移效应,其中,工作记忆训练表现出中等程度的近迁移效应,抑制控制以及认知灵活性训练表现出小的近迁移效应。

在执行功能的三个成分中,工作记忆训练的近迁移效应得到了大量研究的普遍支持,而对于抑制控制训练以及认知灵活性训练,当前的研究结果并不一致(王祥鹏,2018; Thorell et al., 2009; 赵鑫,陈玲,&张鹏,2015)。例如,王祥鹏(2018)的研究发现,针对 Stroop 任务的训练不能对同样测量抑制控制能力的 Simon 任务产生迁移,研究者对此的解释是两种任务所涉及的冲突加工能力是领域特异性的,且有不同的认知加工通路,因而无法产生迁移。这也可以解释为什么工作记忆训练更容易产生迁移效应,可能

是由于工作记忆训练任务更多地涉及领域一般性的加工过程。

3.3. 远迁移效应

关于执行功能训练是否存在远迁移效应,已有研究的结果也并不一致。许多研究支持执行功能训练的远迁移效应。例如, Scionti, Cavallero, Zogmaister, & Marzocchi (2020)对 32 项学龄前儿童的执行功能训练的元分析发现了显著的远迁移效应。Nguyen 等人(2019a)对老年人执行功能认知训练研究的元分析发现了小但显著的远迁移效应,训练在一定程度上改善了老年人记忆和视觉空间领域以及流体智力的表现。

然而,也有许多研究发现了相反的结果(Kassai et al., 2019; Melby-Lervåg, Redick, & Hulme, 2016; Soveri, Antfolk, Karlsson, Salo, & Laine, 2017)。如 Kassai 等人对儿童执行功能训练研究的元分析发现,工作记忆训练、执行控制训练和认知灵活性训练都没有产生远迁移效应。一些研究者认为,以往研究发现的远迁移效应可能是由于研究设计或者统计方法的问题,如部分研究未设置积极控制组(和实验组接受同样时长的干预,但干预内容不包括训练所关注的核心加工成分)作为对照组以排除安慰剂效应、期望效应等无关变量的影响。(Melby-Lervåg, Redick, & Hulme, 2016; Sala & Gobet, 2019)。

3.4. 长期效应

训练是否存在长期效应是评价训练效果的重要方面。有研究表明,执行功能训练的训练效应以及近迁移效应都是稳定的,而远迁移效应的长期效应存在争议。如, Nguyen 等人(2019a)的元分析研究,包含了 64 组测量执行功能训练效果即时效应的研究,以及 16 组追踪长期效应的研究,发现在训练效应、近迁移效应以及远迁移效应这三种水平上,长期效应都是显著的。然而,即时效应大于长期效应,也就是说,训练的效应量随着时间发生了下降,其中远迁移效应的下降是最大的。Schwaighofer 等人(2015)对工作记忆训练研究的元分析研究,包含了 42 组对言语工作记忆的即时效应的测量,以及 11 组对追踪约八个月的长期效应的测量,被试包括儿童和成年人,研究发现近迁移存在长期效应,而远迁移不存在长期效应。

4. 执行功能训练的影响因素

影响执行功能训练效果的因素可以分为两种,一种来自训练任务,另一种来自被试。

4.1. 任务因素

任务相关的因素如训练范式、训练时间、训练难度都会影响训练效果。在众多种类的执行功能训练任务中,工作记忆训练尤其是 Cogmed 工作记忆训练任务被一些研究者认为是提升执行功能的最佳认知训练方法(Diamond & Ling, 2020)。训练时间也是重要的影响因素,表现为训练的总时长与训练效果存在显著的正相关(Scionti, Cavallero, Zogmaister, & Marzocchi, 2020)。另外,训练的难度也是造成训练效果差异的因素,自适应的训练程序可以随着被试的表现调整任务难度,能够最大化训练的效果(Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009)。最后,多任务训练比单一任务训练的效果更好,更容易产生迁移效应(王祥鹏, 2018)。

4.2. 被试因素

首先,个体训练前的基线水平对训练效果有重要影响。关于基线水平的影响存在两种观点,一种观点认为存在补偿效应,即具有低基线水平的个体在训练中的获益会更多。另一种观点认为训练会扩大个体差异,即具有较高基线水平的个体在训练中获益更多。目前的研究更支持第一种观点,即训练存在补偿效应。例如,Hardy 等人(2015)的大样本研究表明在前测阶段一系列任务上面表现较差的个体,经过训

练之后表现出了更大的获益。

被试的年龄也是重要的影响因素。Bürki, Ludwig, Chicherio 和 de Ribaupierre (2014)比较了年轻人和老年人的认知训练行为变化,发现接受 10 天的 N-back 工作记忆训练之后,相比于年轻被试,老年被试行为提升的平均速度明显更慢。另外,在多数情况下,对儿童的执行功能训练容易观察到迁移效应,在老年人中更难发现迁移效应,而且与年轻人相比,老年人观察到的迁移效应有所降低(Brehmer, Westerberg, & Bäckman, 2012)。这可能是由于儿童的执行功能结构的模块化程度相对较低,执行功能的几个成分尚未完全独立,因而对于一种执行功能成分的训练可以迁移到其他执行功能成分(Scioni, Cavallero, Zogmaister, & Marzocchi, 2020)。

另一个影响训练效果的因素是被试群体。有证据表明,执行功能受损的特殊群体相对于一般群体从执行功能训练中有更大获益。例如, Scioni, Cavallero, Zogmaister, & Marzocchi (2020)对学龄前儿童执行功能训练的元分析研究发现,特殊儿童(特别是患有 ADHD 的儿童)比正常发展的儿童从认知训练中受益更多。其他研究也表明,ADHD 儿童在接受认知训练后表现出执行功能的改善,特别是在工作记忆方面(Rapport, Orban, Kofler & Friedman, 2013)。针对 ADHD 儿童的工作记忆训练可能比其他的执行功能训练更有效,因为工作记忆缺陷是 ADHD 的关键内表型之一(Castellanos & Tannock, 2002)。

5. 执行功能训练的机制

执行功能可塑性的本质是大脑结构和功能的可塑性。执行功能训练引发的大脑变化可能发生在三个方面:脑区激活模式的改变、脑区之间连接模式的改变以及脑结构的变化(王祥鹏, 2018)。

首先,执行功能训练会引发脑区激活模式的变化,尽管已有研究发现的变化模式并不一致。如 Brehmer 等人(2011)对老年人进行工作记忆训练,训练后老年人在完成高负荷认知任务时前额叶、颞叶和枕叶的激活减弱,而 Buschkuhl 等人(2014)对年轻人使用 N-Back 任务进行工作记忆训练的研究发现了训练后额叶激活水平的增加。

其次,有研究表明,执行功能训练引发了大脑网络之间连接模式的变化。例如, Thompson, Waskom 和 Gabrieli (2016)使用双重 N-Back 任务对一组年轻人进行训练。结果发现,经过训练,执行控制网络和背侧注意网络这两个网络内部以及两者之间与任务相关的功能连接都得到增强,且增强的幅度与任务获益相关。

最后,执行功能训练可能会引发脑结构的变化。有研究者发现了工作记忆训练对灰质体积的改变(Colom et al., 2016)以及结构网络(纤维连接)的改变(Caeyenberghs, Metzler-Baddeley, Foley, & Jones, 2016)。另外, Chavan, Mouthon, Draganski, van der Zwaag 和 Spierer (2015)在报告了抑制控制训练引发的前额叶活动水平变化的同时,发现右侧前额的灰质体积增加以及右侧额下回白质结构的改变。对老年人的执行功能训练研究发现,执行功能训练可以减少老年人灰质的损失,甚至增加灰质的体积,并且训练效应更大的个体表现出更大的灰质体积增加(Nguyen et al., 2019b)。

6. 研究展望

如前所述,目前已经有很多关注执行功能认知训练的研究。然而,仍有一些问题需要未来研究的进一步探索。

第一,对于执行功能训练是否存在迁移效应尤其是远迁移效应,目前仍有争议。这可能是由于不同研究者采用的任务设置以及统计方法的差异,而且多数训练研究采用的样本量较小,统计推断力通常较低,研究结果面临难以重复、受到极端值影响的作用。未来的研究应当考虑使用大样本,采用更严密的研究设计,将现有的训练程序、评估手段、统计分析方法进行标准化,以排除无关变量的影响,提高训

练的有效性。

第二, 未来的研究不能仅限于考察执行功能训练是否有效, 还应当关注哪种执行功能训练对哪些群体有效以及在什么背景和情境下有效, 应当关注执行功能训练中的个体差异, 关注被试的人格、经验以及生活背景等特征, 以便确定个性化的训练方案。

第三, 未来的研究应当更多地关注训练的长期效应及其影响因素。目前的研究主要关注训练的即时效应和短期效应, 关注训练效果持续性的研究相对而言数量较少, 且追踪时间较短, 迫切需要更多的研究来观察干预结束后数月以及数年的效应。并且, 未来研究应当探索影响训练效果持续性的因素, 探究采用何种方式能够巩固训练效果, 以帮助受训者达到长期获益。

第四, 未来的研究应当深入探究执行功能训练的神经机制。迄今为止关于训练神经机制的研究数量有限, 且较少关注迁移效应的机制。未来的研究应当采用更多的脑成像手段, 寻找更为有效的神经测量方法以及相应的指标, 以进一步探究执行功能训练的神经机制。

参考文献

- 彭君, 莫雷, 黄平, 周莹, 王靖, 昂晨(2014). 工作记忆训练提升幼儿流体智力表现. *心理学报*, *46*(10), 1498-1508.
- 王翠萍(2019). *执行功能训练对儿童早期认知发展和学业成绩的影响*. 博士学位论文, 杭州: 浙江大学.
- 王祥鹏(2018). *基于训练的执行功能可塑性及其迁移效应*. 博士学位论文, 重庆: 西南大学.
- 王梓宇, 孔子叶, 朱荣娟, 游旭群(2019). 任务转换训练和执行功能可塑性. *心理科学进展*, *27*(10), 1667-1676.
- 赵鑫, 陈玲, 张鹏(2015). 反应抑制的训练: 内容, 效果与机制. *心理科学进展*, *23*(1), 51-60.
- Blacker, K. J., Negroita, S., Ewen, J. B., & Courtney, S. M. (2017). N-Back versus Complex Span Working Memory Training. *Journal of Cognitive Enhancement*, *1*, 434-454. <https://doi.org/10.1007/s41465-017-0044-1>
- Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., & Bäckman, L. (2011). Neural Correlates of Training-Related Working-Memory Gains in Old Age. *Neuroimage*, *58*, 1110-1120. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.079>
- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. (2012). Working-Memory Training in Younger and Older Adults: Training Gains, Transfer, and Maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 63. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2012.00063> <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00063>
- Buschkuhl, M., Hernandez-Garcia, L., Jaeggi, S. M., Bernard, J. A., & Jonides, J. (2014). Neural Effects of Short-Term Training on Working Memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *14*, 147-160. <https://doi.org/10.3758/s13415-013-0244-9>
- Caeyenberghs, K., Metzler-Baddeley, C., Foley, S., & Jones, D. K. (2016). Dynamics of the Human Structural Connectome Underlying Working Memory Training. *Journal of Neuroscience*, *36*, 4056-4066. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1973-15.2016>
- Capodiecici, A., Gola, M. L., Cornoldi, C., & Re, A. M. (2018). Effects of a Working Memory Training Program in Preschoolers with Symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *40*, 17-29. <https://doi.org/10.1080/13803395.2017.1307946>
- Castellanos, F. X., & Tannock, R. (2002). Neuroscience of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: The Search for Endophenotypes. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*, Art. No. 8. <https://doi.org/10.1038/nrn896>
- Chacko, A., Feirsen, N., Bedard, A.-C., Marks, D., Uderman, J. Z., & Chimiklis, A. (2013). Cogmed Working Memory Training for Youth with ADHD: A Closer Examination of Efficacy Utilizing Evidence-Based Criteria. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, *42*, 769-783. <https://doi.org/10.1080/15374416.2013.787622>
- Chavan, C. F., Mouthon, M., Draganski, B., Van Der Zwaag, W., & Spierer, L. (2015). Differential Patterns of Functional and Structural Plasticity within and between Inferior Frontal Gyri Support Training-Induced Improvements in Inhibitory Control Proficiency. *Human Brain Mapping*, *36*, 2527-2543. <https://doi.org/10.1002/hbm.22789>
- Chen, X., Ye, M., Chang, L., Chen, W., & Zhou, R. (2018). Effect of Working Memory Updating Training on Retrieving Symptoms of Children with Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *51*, 507-519. <https://doi.org/10.1177/0022219417712015>
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, Learning, and Creativity: Frontal Lobe Function and Human Decision-Making.

- PLoS Biology*, 10, e1001293. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
- Colom, R., Martínez, K., Burgaleta, M., Román, F. J., García-García, D., Gunter, J. L., Hua, X., Jaeggi, S. M., & Thompson, P. M. (2016). Gray Matter Volumetric Changes with a Challenging Adaptive Cognitive Training Program Based on the Dual n-Back Task. *Personality and Individual Differences*, 98, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.03.087>
- 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, 720-730. <https://doi.org/10.1037/a0014296>
- Delalande, L., Moyon, M., Tissier, C., Dorriere, V., Guillois, B., Mevell, K., Charron, S., Salvia, E., Poirel, N., & Vidal, J. (2020). Complex and Subtle Structural Changes in Prefrontal Cortex Induced by Inhibitory Control Training from Childhood to Adolescence. *Developmental Science*, 23, e12898. <https://doi.org/10.1111/desc.12898>
- Diamond, A. (2010). The Evidence Base for Improving School Outcomes by Addressing the Whole Child and by Addressing Skills and Attitudes, Not Just Content. *Early Education and Development*, 21, 780-793. <https://doi.org/10.1080/10409289.2010.514522>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A., & Ling, D. (2020). Review of the Evidence on, and Fundamental Questions about, Efforts to Improve Executive Functions, Including Working Memory. In J. M. Novick (Ed.), *Cognitive and Working Memory Training: Perspectives from Psychology, Neuroscience, and Human Development* (pp. 143-431). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199974467.003.0008>
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin*, 134, 31. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Hardy, J. L., Nelson, R. A., Thomason, M. E., Sternberg, D. A., Katovich, K., Farzin, F., & Scanlon, M. (2015). Enhancing Cognitive Abilities with Comprehensive Training: A Large, Online, Randomized, Active-Controlled Trial. *PLOS ONE*, 10, e0134467. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134467>
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive Training Leads to Sustained Enhancement of Poor Working Memory in Children. *Developmental Science*, 12, F9-F15. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00848.x>
- 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, 978-990. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00846.x>
- Kassai, R., Futo, J., Demetrovics, Z., & Takacs, Z. K. (2019). A Meta-Analysis of the Experimental Evidence on the Near- and Far-Transfer Effects among Children's Executive Function Skills. *Psychological Bulletin*, 145, 165. <https://doi.org/10.1037/bul0000180>
- Melby-Lervåg, M., Redick, T. S., & Hulme, C. (2016). Working Memory Training Does Not Improve Performance on Measures of Intelligence or Other Measures of "Far Transfer" Evidence from a Meta-Analytic Review. *Perspectives on Psychological Science*, 11, 512-534. <https://doi.org/10.1177/1745691616635612>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., 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. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019a). Immediate and Long-Term Efficacy of Executive Functions Cognitive Training in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 145, 698. <https://doi.org/10.1037/bul0000196>
- Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019b). Cognitive and Neural Plasticity in Old Age: A Systematic Review of Evidence from Executive Functions Cognitive Training. *Ageing Research Reviews*, 53, Article ID: 100912. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>
- Pasqualotto, A., Mazzoni, N., Bentenuto, A., Mulè, A., Benso, F., & Venuti, P. (2021). Effects of Cognitive Training Programs on Executive Function in Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder: A Systematic Review. *Brain Sciences*, 11, Art. 10. <https://doi.org/10.3390/brainsci11101280>
- Pozuelos, J. P., Combata, L. M., Abundis, A., Paz-Alonso, P. M., Conejero, Á., Guerra, S., & Rueda, M. R. (2019). Metacognitive Scaffolding Boosts Cognitive and Neural Benefits Following Executive Attention Training in Children. *Developmental Science*, 22, e12756. <https://doi.org/10.1111/desc.12756>
- Rapport, M. D., Orban, S. A., Kofler, M. J., & Friedman, L. M. (2013). Do Programs Designed to Train Working Memory, Other Executive Functions, and Attention Benefit Children with ADHD? A Meta-Analytic Review of Cognitive, Academic, and Behavioral Outcomes. *Clinical Psychology Review*, 33, 1237-1252. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.08.005>
- Sala, G., & Gobet, F. (2019). Cognitive Training Does Not Enhance General Cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 23, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.10.004>

- Schwaighofer, M., Fischer, F., & Böhner, M. (2015). Does Working Memory Training Transfer? A Meta-Analysis Including Training Conditions as Moderators. *Educational Psychologist, 50*, 138-166. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1036274>
- Scionti, N., Cavallero, M., Zogmaister, C., & Marzocchi, G. M. (2020). Is Cognitive Training Effective for Improving Executive Functions in Preschoolers? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychology, 10*, 2812. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02812>
- Soveri, A., Antfolk, J., Karlsson, L., Salo, B., & Laine, M. (2017). Working Memory Training Revisited: A Multi-Level Meta-Analysis of n-Back Training Studies. *Psychonomic Bulletin & Review, 24*, 1077-1096. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1217-0>
- Thompson, T. W., Waskom, M. L., & Gabrieli, J. D. (2016). Intensive Working Memory Training Produces Functional Changes in Large-Scale Frontoparietal Networks. *Journal of Cognitive Neuroscience, 28*, 575-588. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00916
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x>
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence: Development and Plasticity. *Child Development Perspectives, 6*, 354-360. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x>
- Zhao, X., Chen, L., & Maes, J. H. R. (2018). Training and Transfer Effects of Response Inhibition Training in Children and Adults. *Developmental Science, 21*, e12511. <https://doi.org/10.1111/desc.12511>