

老年人工作记忆训练研究进展

颜翠仪, 刘文清, 崔越, 智慧钰, 史新广*

苏州城市学院城市治理与公共事务学院, 江苏 苏州

收稿日期: 2025年5月23日; 录用日期: 2025年7月14日; 发布日期: 2025年7月28日

摘要

随年龄增长, 老年人的工作记忆逐渐衰退, 呈现老化特征, 给老年人的生活质量带来消极影响。但工作记忆并不是一成不变的, 可以通过工作记忆训练来改善老化的不良影响。目前关于老年人工作记忆的研究中, 其迁移效应的结果仍不统一, 工作记忆训练的起效机制和神经机制尚待论证, 因此, 本文从老年人工作记忆训练的内容、方法、训练效果的神经生理机制以及迁移效应等方面来阐述该领域的现状, 探讨当前训练效果不统一的原因及该领域未来可能的发展趋势。

关键词

工作记忆训练, 老年人, 迁移

Research Progress on Working Memory Training for the Elderly

Cuiyi Yan, Wenqing Liu, Yue Cui, Huiyu Zhi, Xinguang Shi*

School of Urban Governance and Public Affairs, Suzhou City University, Suzhou Jiangsu

Received: May 23rd, 2025; accepted: Jul. 14th, 2025; published: Jul. 28th, 2025

Abstract

With age, the working memory of the elderly gradually declines, showing the characteristics of aging, which has a negative impact on the quality of life of the elderly. However, working memory is not immutable and can be improved through working memory training to alleviate the adverse effects of aging. Currently, in the research on the working memory of the elderly, the results of the transfer effect are still inconsistent, and the mechanism of action and neural mechanism of working memory training remain to be demonstrated. Therefore, this article elaborates on the current status

*通讯作者。

文章引用: 颜翠仪, 刘文清, 崔越, 智慧钰, 史新广(2025). 老年人工作记忆训练研究进展. 心理学进展, 15(7), 197-205. DOI: 10.12677/ap.2025.157419

of this field from aspects such as the content, methods, neural physiological mechanisms of training effects, and transfer effects of working memory training for the elderly, and discusses the reasons for the inconsistent training effects at present and the possible future development trends in this field.

Keywords

Working Memory Training, Elderly People, Transfer

Copyright © 2025 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

工作记忆(working memory, WM)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,被认为是认知加工系统中的一个核心结构,是学习、推理、问题解决和智力活动的重要成分(Baddeley, 1992)。国内外研究发现,成人的工作记忆会随着年龄的增长而下降(Swanson, 1999; 李德明等, 2003)。

传统的观点认为个体的工作记忆容量是有限的,但是近年来的研究发现了工作记忆容量可以通过一定的训练得到提升,并且这一提升也会反映在神经系统的改变上(Gathercol et al., 2019; Sala & Gobet, 2020; 赵鑫, 周仁来, 2010; 赵鑫, 周仁来, 2014)。这种训练被称为工作记忆训练,指通过练习或有意的指导来提高认知功能的过程,是一种有效提高工作记忆能力及相关一般认知能力的方法,通常采用工作记忆相关的任务对个体进行短期训练,以期提高个体的工作记忆能力及其他的一般认知能力(赵鑫, 李红利, 2022)。这种训练在儿童、青年和老年人身上都发现了显著的增益效果(Peng, 2017; Beloe, 2019; Borella, 2010),其中,老年人由于其自身认知面临老化的特性,被认为是工作记忆训练最大的潜在受益人群之一。

《中国统计年鉴 2024》显示,2023 年我国 65 岁及以上的老年人为 21676 万,占总人口的 15.4%,已达到老龄社会标准(14%),预计到 2030 年,这一比例将高达 20%。面对日益严峻的老龄化问题,找到一种延缓认知能力下降或至少恢复部分早期认知功能的方法是社会面临的一个关键问题,而工作记忆训练可能是解决这一问题的一个可行方案(Sala & Gobet, 2020)。研究发现,认知功能会随年老而加速衰退,严重甚至可以导致老年痴呆,威胁老年人的身体健康,而工作记忆在认知年老化过程中起重要的中介作用,这意味着工作记忆随增龄而下降的特性可能是导致认知老化的因素之一(李德明, 陈天勇, 2006; 李德明等, 1999; 刘昌等, 1999)。而工作记忆训练可有效减缓老年人认知衰退的速度,恢复老年人的部分认知功能,其中既包括训练项目的提升,即训练效应显著,如工作记忆广度、工作记忆刷新能力等的提升,也存在远近迁移现象,如工作记忆广度到工作记忆抑制能力的近迁移、工作记忆到流体智力的远迁移等。

目前,关于工作记忆训练效应的研究结果趋于统一,多数研究发现工作记忆训练的训练效应显著,但关于远近迁移效应的结论仍存在争议。部分学者研究发现近迁移效应显著而远迁移效应不显著,部分学者发现远近迁移效应均不显著(Li et al., 2008; McAvinue et al., 2013; Lampit et al., 2014; Hyer et al., 2015)。这就导致工作记忆训练的起效机制和神经机制仍待论证,未来研究应聚焦的核心领域与创新方向仍不明晰。因此,本文旨在从老年人群体工作记忆训练的理论基础、训练形式和训练手段、行为和神经生理证据等方面来阐述工作记忆训练研究领域的现状,探讨当前训练效果不统一的原因及该领域未来可能的发展趋势。

2. 老年人工作记忆训练的理论基础

工作记忆是暂时储存与加工信息的能量有限的系统,被认为是认知活动的枢纽。经过对记忆系统结构及其功能的多年研究和积淀,1974年提出了工作记忆三成分模型,认为工作记忆包括中央执行系统、语音环路和视觉空间模板三个成分,其中语音环路和视觉空间模板被认为是结构性成分(两个存储子系统),中央执行系统被认为是加工性成分。

工作记忆并不是一成不变的,随着年龄的增长,工作记忆会逐渐衰退,这被称为工作记忆老化理论。目前,工作记忆老化是认知老化领域一个重要的研究课题,主要聚焦于:1)工作记忆三个子系统的老化进程是否统一;2)工作记忆能力的老化是否可以解释一些更为一般的认知功能的衰退。

2.1. 工作记忆老化的进程

虽然人们一致认为工作记忆存在老化效应但在工作记忆各子系统对老化的敏感程度上的研究结果并不统一。

在两种实验范式中年龄与句法复杂性存在交互作用但与单词或句子的记忆负荷没有交互作用。因此认为相较于结构性成分,加工性成分对老化更加敏感。而 Salthouse 和 Babcock 在一系列实验研究中直接控制工作记忆存储、加工成份的变化却发现年龄与所涉及的存储和加工负荷都没有交互作用,即二者都不敏感。

而后, Meguro 等人发现老年组与中年组在阅读广度上的差异反映的是语音回路能力的不同,而中年组与青年组在阅读广度上的差异反映的则是中央执行功能的不同。Verhaeghen 等人的发现也与此相近,即虽然所有的老年人在执行功能上出现了衰退,但仍有部分老年人表现出较好的存储功能。这暗示着工作记忆的老龄化是分为两个阶段的,首先是中央执行功能的衰退,然后是存储功能的衰退。

2.2. 工作记忆老化与一般认知功能的关系

随着个体年龄增长,多项认知任务表现呈现衰退趋势,且这些衰退现象之间存在内在联系。(李德明, 2003)这一现象提示,广泛存在的年龄相关认知功能减退可能源于某种共同的核心机制——即认知资源的衰退。

认知资源理论认为老年人加工速度减缓、液态智力下降及抑制功能减弱等基础认知能力的退化,是引发复杂认知功能年龄相关变化的主要诱因。此框架下,工作记忆是否同样具有认知资源的属性?其与加工速度、液态智力等传统认知资源之间又存在怎样的交互关系?

2.2.1. 加工速度与工作记忆老化

Fisk 和 Warr 发现,控制中央执行过程去掉了相关性的 50%工作记忆广度与年龄的相关变异,控制知觉速度去掉了所有与年龄相关的工作记忆广度的变异;且当控制知觉速度的年龄差异后,中央执行功能的年龄差异也基本消除。李德明等(1999)也发现速度是非速度认知能力(包括工作记忆)年龄差异的重要中介因子。这些结果表明中央执行功能的年龄差异主要应归因于工作记忆系统信息激活的一般速度,没有特异性的年龄衰退。这印证了以 Salthouse 为代表的研究者用分层回归、路径分析和结构方程等方法对加工速度、短时记忆、工作记忆等认知功能间的关系进行研究后得出的结果。他们指出,个体的信息加工速度决定了工作记忆的效能,即工作记忆的年龄差异源于加工速度的年龄差异,年龄越大,个体的加工速度越慢,工作记忆能力衰退程度就越深。

2.2.2. 液态智力与工作记忆老化

卡特尔将智力分为流体智力和晶体智力,所谓流体智力,指的是以神经生理为基础,随着神经系统

的成熟而提高，随着神经系统的衰退而减弱，相对地不受教育与文化的影响的智力。流体智力在青少年期以前随年龄增长而不断提高；但青少年期以后，特别是在成年阶段，流体智力随着年龄增长会缓慢下降。

Engle 与 Conway 运用结构方程模型分析法，系统探究了短时记忆、工作记忆与液体智力间的关联机制。研究发现工作记忆与液体智力存在显著相关性，而短时记忆则未显现类似关联。由此推论，中央执行功能的增龄性衰退现象实为液态智力水平下降的认知表征。

2.2.3. 抑制功能与工作记忆老化

Hasher & Zacks (1988)提出抑制功能衰退理论，认为工作记忆的增龄性差异源自老年群体对于干扰信息的抑制功能下降。Chiappe & Hasher 等在对存在阅读困难的不同年龄被试进行分析后也发现，与年龄相关工作记忆能力的降低来自于抑制控制效能的降低，而非工作记忆容量的衰退。Sweeney 的眼动追踪实验为这一理论提供了实证支持：老年被试在无干扰条件下对空间位置信息的记忆精度与青年组相当；但在视觉干扰环境中，其抑制非目标性眼动反应的能力显著弱化。这表明工作记忆的老龄化极有可能是受到抑制能力衰退的影响。

这三方面的研究均用认知功能(如加工速度、液态智力、抑制控制)的增龄性衰退来解释工作记忆的老龄化现象，相较于青年群体，老年群体有其认知独特性，一方面，工作记忆老化理论为老年人工作记忆训练提供了理论基础，另一方面，青年群体与老年群体之间的差异也为开发老年人老年适配性认知训练方案提供了重要价值，可在提升老年人工作记忆效能的同时，针对性地增强其认知功能，促进健康老龄化。

3. 训练形式和训练手段

老年群体工作记忆干预研究领域已形成多元化训练范式，经典范式主要包括工作记忆广度任务训练、自适应 n-back 任务训练以及 Cogmed 记忆训练；新兴范式方面，联合认知 - 运动的干预策略(如体感游戏运动干预)逐渐显现出显著的训练效应，其通过神经可塑性机制对老年工作记忆功能产生多维度的积极作用。

3.1. 工作记忆广度训练任务

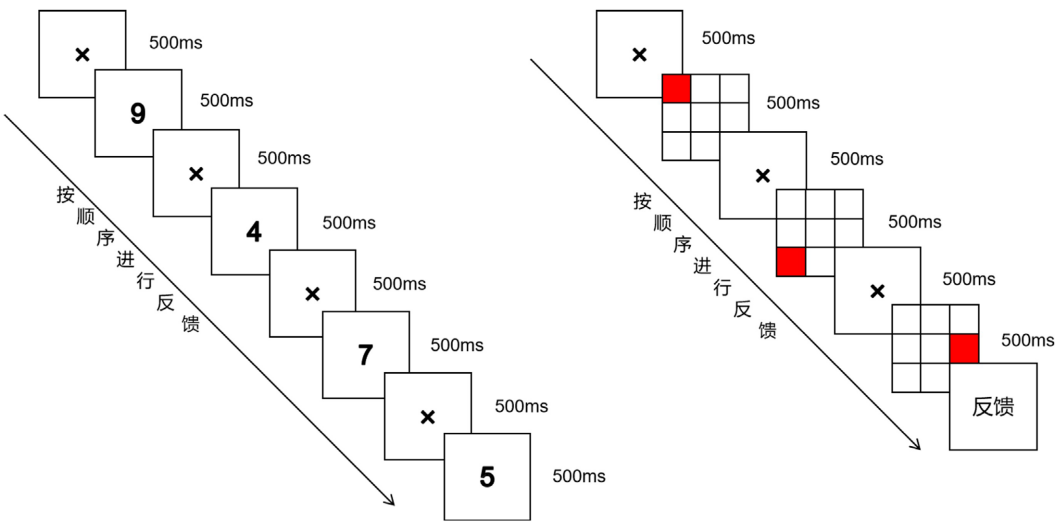


Figure 1. Example of the process flow for some working memory span tasks
图 1. 部分工作记忆广度任务流程示例

工作记忆广度一般用来描述并用于测量工作记忆的容量，包括工作记忆阅读广度、工作记忆数字广

度等。工作记忆广度训练是认知老化的有效干预方式,包括空间广度任务、数字广度任务、颜色广度任务等,一般呈现数字、颜色、九宫格+色块等刺激,要求被试记忆特定位置数的刺激并按位置进行反馈,随着程序推进,要求记住位置数会渐渐增加(具体见图1)。研究发现,工作记忆广度任务训练具有显著的训练收益与近迁移效应,且老年人在经历了包括工作记忆广度训练的多项适应性训练后,还在后续追踪测试中展现了良好的保持效果。

Brehmer 等(2011)应用工作记忆空间广度任务为训练方式,即在 4×4 的网格中依次出现4个或6个红色实心圆,要求被试在经历1400 ms或1000 ms的延迟后,对出现在网格上的一个空心探测圆圈作位置相同与否的判断(具体如图2),研究者对24名60~70岁的老年人进行了训练,发现了显著的训练效应,且在短时记忆、工作记忆和情景记忆等任务上探测到了显著的近迁移效应。此外,McAvinue 等(2013)联合数字广度任务、颜色广度任务等九种自适应训练方式,测量被试的心理压力、智力、即时和延迟回忆、注意力等指标,发现听觉短时记忆广度扩展且这一效果在6个月后仍得到保持,并产生了长期情景记忆的近迁移效果。不过,二者均为发现工作记忆训练的远迁移效果。Shipstead 等(2012)认为,这有可能是工作记忆测量不充分、使用无接触对照组等因素造成的。

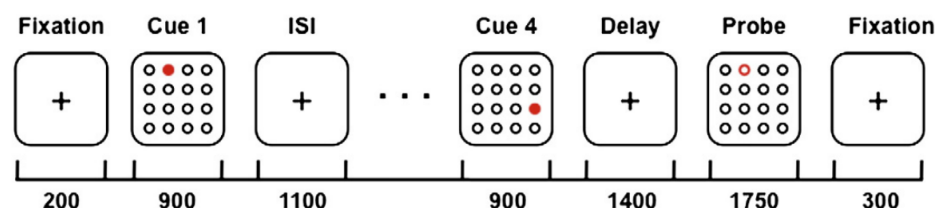


Figure 2. The training process of Brehmer et al.'s working memory span task
图2. Brehmer 等人工作记忆广度任务训练流程

3.2. 自适应 n-back 训练任务

工作记忆的结构复杂,其中,中央执行功能是其核心成分。Miyake 等(2000)提出转换、刷新和抑制是工作记忆中三种相对独立的中央执行功能。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(赵鑫,周仁来,2014)。自适应 n-back 训练任务是一种有效的提高刷新功能的训练方式,一般采用字母或数字的实验材料,老年人训练难度集中于1-back、2-back训练,要求被试反映当前刺激与前面第1个或第2个刺激是否相同(具体见图3)。训练中会根据老年人的训练表现进行适配性调整,表现好增加训练难度,表现差降低训练难度,可以更好地适应被试特性,取得显著的训练效果。Li 等人(2008)的研究为此提供了实证支持。

Li 等人(2008)曾选取21名70~80岁的老年人,分别对其进行关于个性、幸福、健康、心理测量智力和物理和感觉运动功能的自我报告测量的前测评估,除了空间工作记忆的测量外,每日评估还包括自我报告的幸福、压力和健康状况,以及姿势控制、警觉性和感知速度的测量。随后让被试进行了为期45天的空间2-back任务试验。每次日常训练中,被试先进行4次常规性空间工作记忆训练,后进行4次心理转换条件下空间工作记忆训练。训练结束后,被试参与后测评估,使用目标任务评估参与者的练习收益,并使用一系列近迁移任务来检查迁移效果,近迁移任务包括空间3-back任务和两个数字n-back任务,远迁移任务则包含更高难度的复杂跨度任务,即操作和旋转广度测试,为了考察工作记忆在非记忆层面的速度方面是否具有迁移效果,被试还参与了简单的决策速度任务。实验组的参与者还参加了为期三个月的跟踪测试。研究结果显示,空间工作记忆训练不仅提高了被试在空间工作记忆的表现,同时也带来了空间3-back任务的积极迁移,以及数字2-back、3-back任务的积极迁移,且老年人的训练效果在三个月

内得以保持, 但该研究中并未出现可靠的远迁移现象。

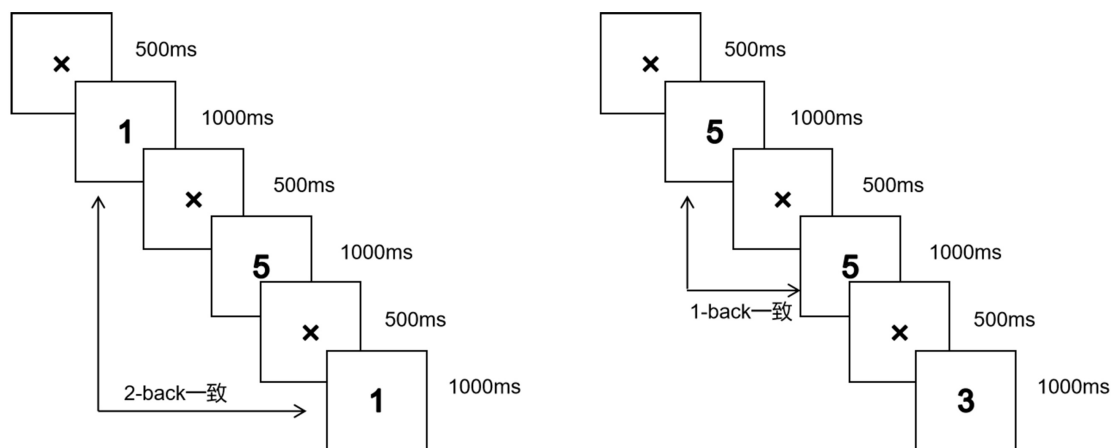


Figure 3. Example of the N-back process

图 3. N-back 流程示意

3.3. Cogmed 工作记忆训练任务

Cogmed 关注短期内保持和处理信息的能力, 包括非语言工作记忆任务方面的自适应训练等干预措施, 具体任务包括: (1) 多个刺激的同时保持(2) 短延迟, 在此期间刺激表征应在工作记忆中保持(3) 每个试次中刺激的独特排序(4) 根据个人的训练表现而调整的自适应难度(Hyer et al., 2015)。Cogmed 训练在老年人身上取得了良好的训练效应、迁移效应, 且在后续追踪测试中提升显著。

Hyer 等(2015)对患有轻度认知障碍(MCI)的老人进行了实验, 参与者被随机分配到 Cogmed 或假电脑程序组。在五到七周内完成了二十五次训练。前、后和随访测量包括一系列认知测量(三工作记忆测试)、主观记忆量表和一项功能测量。结果发现, 两个干预组(Cogmed 组)随着时间的推移都有所改善。在数字广度测试中, Cogmed 组明显优于假干预组(假电脑程序组), 并且在后续跟踪测试时用认知失误问卷(CFQ)评估的主观记忆报告中表现更佳。后续跟踪测试时, Cogmed 组在功能活动问卷(FAQ)上的表现更好, 这表明 Cogmed 组衡量适应和远迁移效果更好。工作记忆训练有效使患有轻度认知障碍(MCI)的老年人的工作记忆能力增强, 且具有较好的迁移效果和维持效果。

3.4. 体感游戏运动干预

体感游戏是借助体感交互设备通过肢体动作的变化来实现操作的全身互动型电子游戏, 同时具备身体活动与思维锻炼的特点, 属于运动-认知双任务训练, 而运动-认知双任务训练可以延缓老年人认知功能的衰退, 且运动-认知双任务训练对认知功能的改善效果优于单一的运动训练。(朱文斐等, 2023)

朱文斐等人(2023)采用随机对照实验法, 将 69 名老年人随机分为体感游戏组($n = 23$)、有氧舞蹈组($n = 23$)与空白对照组($n = 23$)。体感游戏组和有氧舞蹈组在研究人员的指导下进行了 12 周, 每周 3 次, 每节课 75 分钟, 运动强度为 65%~75% HRmax 的运动干预课程。通过组块设计的 N-back 范式(包括 0-back 和 1-back)测试老年被试的工作记忆的外部行为表现, 采用 Artinis 便携式近红外脑功能成像系统监测被试在完成两项认知任务期间前额叶皮层的血流动力学信号。结果发现, 三组间的 1-back 任务正确率在干预后存在显著性差异($H = 9.07$, $p < 0.05$), 其中, 与对照组相比, 体感游戏组 1-back 任务正确率显著提高($H = 11.23$, $p < 0.05$); 与有氧舞蹈组相比, 体感游戏组 1-back 任务正确率在干预后显著提高($H = 14.31$, $p < 0.01$)。

4. 行为和神经生理证据

研究发现,老年人的认知老化不仅在日常行为中有所体现,脑老化也是认知老化受广泛重视的一部分。研究发现,老年人的脑老化包括脑结构的老化(灰质萎缩、白质减少以及脑室扩张)、脑功能的老化(脑激活模式、脑功能网络连接)等(Tatti, et al., 2016; 刘涵慧, 李会杰, 2021),而工作记忆训练作为老年人认知功能恢复的重要方式,在行为表现的改善之外,其对老年人也产生了神经机制上的影响,目前研究重心较多关注脑功能的变化,包括脑区激活模式和脑功能网络连接的变化。

4.1. 工作记忆训练改变脑区激活模式

工作记忆训练引起激活模式发生变化的主要脑区是分别以额叶、额顶叶、额顶颞叶、额顶枕叶和纹状体为主的5个联合区,而老年人工作记忆训练引起激活模式发生变化的主要联合区集中在额叶、额顶叶和纹状体,它们在工作记忆训练后发生激活减弱或增强或重排。比如说:听觉更新训练减弱老年人右额中回和尾侧额上沟(Heinzel et al., 2016)的激活;视觉更新训练减弱了老年人额顶叶的工作记忆网络(Heinzel et al., 2014)激活;视觉更新训练增强了老年人的左侧纹状体以及左额叶、双侧顶叶、右颞叶和左小脑的激活(Dahlin et al., 2008);转换训练减弱了老年人的纹状体激活(Dörrenbächer et al., 2020)。同时,Erickson 等人(2007)发现老年组在 DLPFC 脑区激活降低,在 VLPFC 脑区激活的非对称性(即单侧化优势)增强。Brehmer 等人(2009)认为,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。此外,值得注意的是,前额叶是最易随年龄增长而出现萎缩的脑区之一,工作记忆训练对前额叶激活程度的改善,证明了老年人工作记忆训练的有效性(杜新, 陈天勇, 2010),为其提供了神经生理证据。

4.2. 工作记忆训练改变脑网络功能连接

工作记忆训练会改变脑内自发产生的高振幅、低频率 BOLD 信号间的时间相关,即功能连接,额顶叶网络包含2个与工作记忆联系密切的网络,即执行控制网络和背侧注意网络(Thompson et al., 2016)。而更新、言语、视觉记忆、数学计算和珠心算的工作记忆训练会增强这些网络的功能连接。比如:言语工作记忆训练增强了老年人额叶顶网络及默认模式网络和工作记忆网络内部的功能连接(Iordan et al., 2020)。

5. 当前研究不足和展望

近年来随着老龄化加剧,老年人工作记忆训练受到越来越广泛的关注,诸多研究为其认知功能的改善效益提供了实证证据,但综合分析各项研究,不难发现,虽然训练效应结论比较统一,但迁移效应上仍存在争议,且关于老年人年龄划分宽泛,也可能导致各项研究之间标准化难、无法统一进行比较分析等问题。不过金近年来,神经生理机制研究兴起,老年人工作记忆训练与神经生理机制相结合,更有助于明晰工作记忆的认知机制,这或许会成为未来的研究重点。

5.1. 训练效应显著但迁移效果仍不统一

近年来,老年人工作记忆训练的研究取得了显著进展,工作记忆训练的有效性得到了较为广泛的支持,但关于其迁移效应的研究结果却尚未统一,部分学者研究发现近迁移效应显著而远迁移效应不显著,部分学者发现远近迁移效应均不显著(Li et al., 2008; McAvinue et al., 2013; Lampit et al., 2014; Hyer et al., 2015)。这种不一致性可能与训练范式、任务难度以及个体差异等因素有关,仍需进一步探索。

5.2. 老年人年龄分段的划分宽泛

通常将60岁以上的群体统称为“老年人”,而忽视了不同年龄段之间的认知差异,虽有研究者逐渐

意识到这一问题,并开始细化年龄分段,但多数研究更倾向将所有年龄段的老年作为一个整体进行训练与测量,这可能是导致采用相同实验方法,而研究结果不一致的一个重要原因,即被试本身认知能力增龄性衰退差异导致结果差异;

5.3. 神经生理机制研究逐渐兴起

随着神经科学技术的发展,工作记忆训练的神经生理机制得到越来越广泛的关注。从神经活动角度探讨工作记忆训练使大脑产生的变化,是工作记忆训练研究的一个新角度,有利于了解工作记忆训练的深层作用机制,也为未来开发更高效的干预方案奠定了理论基础。

6. 结论

老年人工作记忆训练是工作记忆训练理论建构和效果评估的有机组成部分(赵鑫,周仁来,2010),本文围绕老年人工作记忆训练的主题,综合分析以往研究,从工作记忆老化理论出发,为老年人工作记忆训练有效性提供行为和神经生理证据。另外,对比各个研究者的研究结论,我们发现,相较于训练效应结论的统一性,迁移效应结果存在差异,工作记忆训练能否稳定产生积极的近迁移、远迁移效果,能否在训练结束后的一段时间内保持训练效应,仍是讨论的重点;同时未来也可考虑在老年人工作记忆训练的研究范围内细分年龄段,年龄的差异带来的是认知功能老化程度的不同,在训练效果上是否存在差异,也是值得探讨的问题;最后,通过神经生理机制与老年人工作记忆训练的结合,加深对工作记忆训练作用机制的了解,持续优化工作记忆训练手段,促进健康老龄化,可能成为未来的研究趋势。

基金项目

本研究得到了江苏省高校哲学社会科学研究项目(2023SJYB1479)和江苏省大学生创新创业训练计划项目(202413983053Y)的资助。

参考文献

- 杜新,陈天勇(2010). 老年执行功能的认知可塑性和神经可塑性. *心理科学进展*, 18(9), 1471-1480.
- 李德明,刘昌,李贵芸(1999). 认知老化模型的研究. *心理学报*, (1), 98-103.
- 李德明,刘昌,陈天勇,李贵芸(2003). 认知功能的老龄化过程、个体差异及影响因素. *中国老年学杂志*, 23(3), 156-158.
- 李德明,陈天勇(2006). 认知年老化 and 老年心理健康. *心理科学进展*, 14(4), 560-564.
- 刘昌,李德明,李贵芸(1999). 心算加工年老化及其机制研究. *心理学报*, (3), 306-312.
- 刘涵慧,李会杰(2021). 老化认知神经科学:研究现状与未来展望. *中国科学: 生命科学*, 51(6), 743-763.
- 赵鑫,李红利(2022). 工作记忆训练:研究现状和趋势. *西北师大学报(社会科学版)*, (6), 173-184.
- 赵鑫,周仁来(2014). 工作记忆刷新功能的可塑性. *心理科学进展*, 22(10), 1521-1531.
- 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.
- 朱文斐,赵晨曦,赵敏敏,张龙海,郭嘉玮(2023). 体感游戏运动干预对老年人工作记忆的影响——基于近红外脑功能成像技术. *第十三届全国体育科学大会论文摘要集——专题报告(运动心理分会)* (pp. 185-187). 陕西师范大学.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255, 556-559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Beloe, P., & Derakshan, N. (2019). Adaptive Working Memory Training Can Reduce Anxiety and Depression Vulnerability in Adolescents. *Developmental Science*, 23, e12831. <https://doi.org/10.1111/desc.12831>
- Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., & De Beni, R. (2010). Working Memory Training in Older Adults: Evidence of Transfer and Maintenance Effects. *Psychology and Aging*, 25, 767-778. <https://doi.org/10.1037/a0020683>
- 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. (2009). Working Memory Training in Old Age: Behavioral and Brain Plasticity. In A. Blaye, & J. Kray (Eds.), *Lifespan Development of Executive Control*.

Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Bäckman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of Learning after Updating Training Mediated by the Striatum. *Science*, 320, 1510-1512. <https://doi.org/10.1126/science.1155466>

Dörrenbächer, S., Wu, C., Zimmer, H., & Kray, J. (2020). Plasticity in Brain Activity Dynamics after Task-Shifting Training in Older Adults. *Neuropsychologia*, 136, 107285. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107285>

Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E. et al. (2007). Training-induced Functional Activation Changes in Dual-Task Processing: An fMRI Study. *Cerebral Cortex*, 17, 192-204. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj137>

Gathercole, S. E., Dunning, D. L., Holmes, J., & Norris, D. (2019). Working Memory Training Involves Learning New Skills. *Journal of Memory and Language*, 105, 19-42. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2018.10.003>

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working Memory, Comprehension, and Aging: A Review and a New View. *Psychology of Learning and Motivation*, 22, 193-225. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60041-9](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60041-9)

Heinzel, S., Lorenz, R. C., Brockhaus, W., Wüstenberg, T., Kathmann, N., Heinz, A. et al. (2014). Working Memory Load-Dependent Brain Response Predicts Behavioral Training Gains in Older Adults. *The Journal of Neuroscience*, 34, 1224-1233. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2463-13.2014>

Heinzel, S., Lorenz, R. C., Pelz, P., Heinz, A., Walter, H., Kathmann, N. et al. (2016). Neural Correlates of Training and Transfer Effects in Working Memory in Older Adults. *NeuroImage*, 134, 236-249. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.068>

Hyer, L., Scott, C., Atkinson, M. M., Mullen, C. M., Lee, A., Johnson, A. et al. (2015). Cognitive Training Program to Improve Working Memory in Older Adults with MCI. *Clinical Gerontologist*, 39, 410-427. <https://doi.org/10.1080/07317115.2015.1120257>

Jordan, A. D., Cooke, K. A., Moored, K. D., Katz, B., Buschkuhl, M., Jaeggi, S. M. et al. (2020). Neural Correlates of Working Memory Training: Evidence for Plasticity in Older Adults. *NeuroImage*, 217, Article ID: 116887. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116887>

Lampit, A., Hallock, H., & Valenzuela, M. (2014). Computerized Cognitive Training in Cognitively Healthy Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Effect Modifiers. *PLOS Medicine*, 11, e1001756. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756>

Li, S., 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, 731-742. <https://doi.org/10.1037/a0014343>

McAvinue, L. P., Golemmé, M., Castorina, M., Tatti, E., Pigni, F. M., Salomone, S. et al. (2013). An Evaluation of a Working Memory Training Scheme in Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5, Article 20. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00020>

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>

Peng, J., Mo, L., Huang, P., & Zhou, Y. (2017). The Effects of Working Memory Training on Improving Fluid Intelligence of Children during Early Childhood. *Cognitive Development*, 43, 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2017.05.006>

Sala, G., & Gobet, F. (2020). Working Memory Training in Typically Developing Children: A Multilevel Meta-Analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27, 423-434. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01681-y>

Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is Working Memory Training Effective? *Psychological Bulletin*, 138, 628-654. <https://doi.org/10.1037/a0027473>

Swanson, H. L. (1999). What Develops in Working Memory? A Life Span Perspective. *Developmental Psychology*, 35, 986-1000. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.35.4.986>

Tatti, E., Rossi, S., Innocenti, I., Rossi, A., & Santarnecchi, E. (2016). Non-invasive Brain Stimulation of the Aging Brain: State of the Art and Future Perspectives. *Ageing Research Reviews*, 29, 66-89. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.05.006>

Thompson, T. W., Waskom, M. L., & Gabrieli, J. D. E. (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