

专家介绍



崔永华, 主任医师, 教授, 博士生导师, 首都医科大学附属北京儿童医院精神科主任, 儿童精神病学专家, 学科带头人, 北京市“百千万”人才领军人才, 第四届“国之名医”, 首都医科大学临床心理学系副主任委员, 中国优生科学协会妇女儿童心理健康专委会主任委员, 北京妇幼保健及优生优育协会副会长, 主持“十三五、十四五”科技支撑计划、国家自然科学基金面上项目等, 发表 SCI 论文 100 余篇, 获中华医学科技奖、北京市科技进步奖等 4 项奖项。

注意缺陷多动障碍执行功能训练的神经机制及临床应用新进展

胡贺芬¹, 崔永华²

1. 济宁医学院附属医院康复医学科(儿童康复), 山东 济宁 272000; 2. 首都医科大学附属北京儿童医院精神科

摘要: 注意缺陷多动障碍(ADHD)是儿童青少年最常见的神经发育障碍, 其核心病理特征之一为执行功能缺陷, 主要表现为抑制控制、工作记忆、认知灵活性及计划组织能力的全面受损, 且该缺陷常伴随患者从儿童期延伸至成年期, 引发学业落后、社交障碍、职业适应困难及情绪调节异常等系列功能损害, 形成“缺陷-损害-二次伤害”的恶性循环。本文结合近年国内外高质量研究成果, 从 ADHD 执行功能缺陷的神经机制与异质性临床特征切入, 系统阐述执行功能训练的理论支撑、核心实施方法及临床应用成效, 重点聚焦不同年龄阶段(学龄前、学龄期、青少年期)与不同亚型(注意缺陷为主型、多动冲动为主型、混合型)患者的个性化训练策略设计与实践要点; 同时剖析当前执行功能训练在临床应用面临的挑战, 包括评估工具标准化不足、训练效果的维持与迁移困难、专业人才与资源短缺等核心问题, 并针对性提出未来发展方向, 为 ADHD 患者执行功能缺陷的精准化、高效化干预及全周期康复提供系统性参考与实践指导。

关键词: 注意缺陷多动障碍; 执行功能训练; 神经可塑性; 个性化干预; 临床应用; 认知训练

中图分类号: R749.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-6579(2026)06-0581-06 **doi:** 10.11852/zgztbjzz2026-0517

Advances in neural mechanisms and clinical applications of executive function training for attention-deficit/hyperactivity disorder

HU Hefen¹, CUI Yonghua²

1. Department of Rehabilitation Medicine (Pediatric Rehabilitation), Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining, Shandong 272000, China; 2. Department of Psychiatry, Beijing Children's Hospital Affiliated to Capital Medical University

Corresponding author: CUI Yonghua, E-mail: cuiyonghua_bch@163.com

Abstract: Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) is the most prevalent neurodevelopmental disorder among children and adolescents. Executive function deficits represent one of its core pathological features, mainly manifested as broad impairments in inhibitory control, working memory, cognitive flexibility, and planning and organizational abilities. These deficits often persist from childhood into adulthood and may lead to a range of functional impairments, including academic underachievement, social difficulties, occupational maladjustment, and emotional dysregulation, thereby creating a vicious cycle of deficit-impairment-secondary harm. Based on the latest research findings, this review elucidates the neural mechanisms and clinical manifestations associated with executive function deficits in ADHD. It systematically elucidates the theoretical basis, core methodologies, and advancements in clinical applications of executive function training. Furthermore, it emphasizes the analysis of individualized training strategies for patients across various age groups.

通信作者: 崔永华, E-mail: cuiyonghua_bch@163.com

and subtypes. The review also identifies the challenges currently faced in clinical application of executive function training, including insufficient standardization of assessment tools, difficulties in maintaining and transferring training effects, and shortages of specialized personnel and resources. Finally, future directions are proposed to provide valuable insights for the precise diagnosis, treatment and life-course rehabilitation interventions for individuals with ADHD.

Keywords: attention-deficit/hyperactivity disorder; executive function training; neural plasticity; individualized intervention; clinical application; cognitive training

注意缺陷多动障碍(attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD)是一种以持续存在的注意力不集中、多动冲动为核心症状,伴随执行功能缺陷的神经发育障碍^[1]。全球儿童青少年患病率约为 7%~8%,成年期患病率约 2.5%^[2]。传统干预手段以药物治疗和行为管理为主,但药物仅能控制表面症状,且存在生长抑制、心血管风险等副作用;行为治疗则多聚焦外部行为矫正,对核心认知缺陷的改善效果有限^[3]。近年来,随着认知神经科学的发展,执行功能训练因能直接靶向 ADHD 的核心病理机制,成为 ADHD 干预的研究热点。同时,神经影像学、微生物组学等技术的应用,也为 ADHD 的精准诊断与个性化治疗提供了新方向。本文基于近年国内外高质量研究,从执行功能训练的理论基础、临床实践及诊疗新进展三方面展开论述,旨在为 ADHD 的临床实践与科学研究提供参考。

1 ADHD 执行功能缺陷的神经机制与临床特征

1.1 执行功能缺陷的神经基础 执行功能是依赖前额叶-纹状体-小脑神经环路协同作用的复杂认知系统,涵盖抑制控制、工作记忆、认知灵活性、计划与组织能力四大核心成分^[4]。神经影像学研究证实,ADHD 患者存在前额叶皮质(尤其是背外侧前额叶、眶额皮质)、基底节(尾状核、壳核)及小脑等脑区的结构与功能异常:一方面,患者前额叶皮质厚度较健康人群薄,且发育滞后约 3 年^[5];另一方面,静息态功能磁共振成像显示,ADHD 患者前额叶-纹状体功能连接减弱,导致抑制控制与工作记忆加工效率下降^[6]。从神经递质角度看,ADHD 患者的多巴胺(dopamine, DA)和去甲肾上腺素(norepinephrine, NE)系统功能异常是执行功能缺陷的重要原因。DA 在奖赏加工、行为抑制中起关键作用,前额叶 DA 浓度不足会导致患者难以维持目标导向的认知活动;NE 则参与注意力调节,其功能异常会进一步加剧执行功能的不稳定性^[7]。此外,近年基因组学研究发现,ADHD 患者的 COMT、DRD4 等基因多态性与执行功能缺陷相关,这些基因通过调控神经递质代谢影响前额叶功能^[8]。

ADHD 的核心病理特征并非单一脑区的功能

异常,而是大规模脑网络间功能连接的紊乱,尤其是动态交互模式的失衡。传统功能连接研究多聚焦于时间平均水平的静态连接,难以捕捉大脑活动的动态可塑性特征。

近年来,多中心队列和多角度分析的研究进一步揭示了脑网络动态功能连接异常在 ADHD 发病中的关键作用,为执行功能训练的神经机制提供了全新解释。2025 年发表于《Nature Mental Health》的研究,从全局、区域间和网络三个尺度,系统揭示了 ADHD 患者高阶认知网络与低阶感觉网络的动态交互失衡机制^[9]。该研究纳入 454 名 7~18 岁儿童青少年(ADHD 与对照组各 227 名),发现 ADHD 患者脑功能连接异常具有显著空间尺度依赖性:在全脑水平,默认模式网络核心枢纽(如后扣带回)全局连接减弱,而视觉脑区负性连接增强;在区域间水平,呈现低连接与高连接并存的复杂模式,其中突显网络、额顶网络与听觉/感觉运动网络的连接减弱,而默认模式网络与这两类高阶认知网络的连接异常增强。执行功能训练通过针对性的认知任务设计,能够特异性强化高阶认知网络内部及其与低阶感觉网络的功能性交互。

1.2 执行功能缺陷的临床表现与功能损害

ADHD 患者的执行功能缺陷具有显著异质性,且随年龄增长呈现不同表现形式。在儿童期,抑制控制缺陷表现为课堂上随意插话、冲动行为频发;工作记忆不足导致患儿完成作业时频繁遗忘步骤,数学计算中易出错;认知灵活性欠缺则使其难以适应学科转换,如从语文学习切换至数学思维时反应迟缓^[10]。青少年期,执行功能缺陷延伸至社交与情绪领域,如因计划能力薄弱导致时间管理混乱、学业拖延,因冲动决策增加物质使用风险^[11]。成年期患者虽多动症状可能减轻,但执行功能缺陷仍持续存在,表现为职业适应困难、人际关系冲突及情绪调节障碍^[12]。值得注意的是,执行功能缺陷的损害具有“累积效应”。一项为期 10 年的纵向研究显示,ADHD 儿童若未接受针对性干预,其执行功能缺陷会导致学业成绩落后、社交排斥等问题,进而引发低自尊、抑郁等心理问题,形成“缺陷-损害-二次伤害”的恶性循环^[13]。此外,执行功能缺陷与共病高度相

关,约 60% 的 ADHD 患者伴随学习障碍、焦虑抑郁等共病,而共病又会进一步加剧执行功能损害,增加临床干预难度^[14]。

2 ADHD 执行功能训练的理论基础与核心方法

2.1 执行功能训练的理论支撑 ADHD 执行功能训练的核心理论基础为神经可塑性理论与认知训练理论。神经可塑性研究表明,通过针对性认知任务的反复刺激,ADHD 患者的前额叶-纹状体神经环路可发生适应性改变,包括突触密度增加、脑区功能连接增强等。例如,一项脑成像研究发现,接受 12 周执行功能训练的 ADHD 儿童,其背外侧前额叶皮质厚度增加 0.12mm,且厚度变化与注意力评分改善呈正相关^[15]。

认知训练理论则强调“任务特异性”与“渐进性”原则:一方面,训练任务需精准匹配执行功能缺陷类型,如针对工作记忆的训练需包含“信息编码-存储-提取”的完整加工过程;另一方面,训练难度应逐步递进,避免因任务过难使患者产生挫败感,或过简单导致训练无效^[16]。近年兴起的差异化易感模型进一步指出,个体差异(如年龄、基因、脑结构基础)会影响训练效果,为个性化训练方案的制定提供了理论依据^[17]。

2.2 执行功能训练的核心方法与临床效果 当前 ADHD 执行功能训练主要分为三大类,各类方法在临床应用中各具优势与适用场景。

2.2.1 计算机辅助训练 计算机辅助训练是目前应用最广泛的形式,其通过交互式任务设计提升患者参与度,且可实时量化训练效果。Cogmed 工作记忆训练系统是其中的代表,该系统包含视觉-空间工作记忆、言语工作记忆等模块,通过“逐步增加任务负荷”的方式提升患者的工作记忆容量。一项多中心随机对照试验显示,ADHD 儿童接受 8 周 Cogmed 训练后,其工作记忆容量提升 25%,Conners 量表注意力评分降低 30%,且效果可维持 6 个月^[18]。

神经反馈训练则通过实时监测脑电活动(如 θ/β 波比值),让患者通过视觉或听觉反馈调节自身脑功能。研究表明,ADHD 患者的 θ 波(与注意力分散相关)显著高于健康人群, β 波(与专注状态相关)显著低于健康人群,神经反馈训练可降低 θ/β 波比值,改善前额叶功能^[19]。一项 Meta 分析显示,神经反馈训练可显著改善 ADHD 患者的注意力,且长期效果优于短期药物治疗^[20]。

2.2.2 生态化训练 传统执行功能训练多在实验室或诊所环境中进行,任务设计去情境化,虽便于量

化评估,但向真实生活场景的迁移性有限,当前 ADHD 执行功能训练中,“生态化训练”特指基于患者真实生活场景(如家庭、学校、社区),聚焦日常任务开展的针对性训练,其核心是强调训练与实际生活的关联性、实用性,这与“去情境化”的实验室训练存在本质区别,生态化训练强调在真实生活场景中巩固执行功能技能,弥补了传统实验室训练“脱离实际”的不足。时间管理训练是典型代表,通过“目标设定-计划制定-执行监控-结果反思”的流程,帮助患者掌握时间管理技巧。例如,训练师指导患者使用日程表、番茄工作法等工具,将长期目标(如完成学期作业)分解为短期任务(如每天完成 1 篇作文),并通过每日打卡、每周复盘强化技能^[21]。

社交问题解决训练则针对 ADHD 患者的社交执行功能缺陷,通过角色扮演、情景模拟等方式,训练患者在社交冲突中的认知灵活性与决策能力。一项针对青少年 ADHD 患者的研究显示,接受 12 周社交问题解决训练后,患者的社交冲突解决能力评分提升 40%,同伴关系满意度显著改善^[22]。此外,生态化训练常需家长参与,如指导家长在家庭中延续训练策略,如通过“任务清单”帮助患者培养计划能力,形成“医院-家庭”协同干预模式^[23]。

2.2.3 新兴技术辅助训练 近年来,虚拟现实(virtual reality, VR)、脑机接口(brain-computer interface, BCI)等技术的发展为执行功能训练提供了新方向。VR 训练通过构建高度仿真的多感官场景(如模拟课堂、超市购物),让患者在安全可控的环境中练习执行功能技能^[24]。例如,在模拟课堂场景中,患者需完成“听课-记笔记-回答问题”的任务,训练过程中系统会随机出现干扰(如同学说话、窗外噪音),以提升患者的抑制控制与注意力维持能力^[25]。研究显示,VR 训练组 ADHD 儿童的注意力维持时间较传统训练组延长 50%,且训练参与度更高^[26],德国海德堡大学医院联合荷兰乌得勒支医学中心开展的“NeuroVRKids”多中心试验(纳入 6 个国家 1 200 名 ADHD 儿童)显示,接受 8 周基于虚拟教室场景的注意力调控训练后,干预组 ADHD 评定量表(ADHDRS)总分平均降幅达 39.2 分,显著高于对照组的 22.1 分($P < 0.001$),且患者持续性注意力指标(CPT III 错误率)下降 31.7%,反应时间变异系数减少 24.6%,远超传统行为干预组的 16.3% 和 9.8%。功能磁共振成像数据显示,训练后患者前额叶皮层激活强度平均提升 28.4%,默认模式网络与中央执行网络的动态连接显著增强,且这种神经可塑性变化至少可维持 6 个月^[27]。

BCI 自适应训练系统则通过实时采集患者脑电信号,动态调整训练难度。例如,当系统检测到患者脑电显示“专注状态”时,自动提升任务难度;当检测到“注意力分散”时,降低难度并给予提示,实现“精准匹配”的训练效果^[28]。目前该技术仍处于研发阶段,但初步数据显示,BCI 训练可使 ADHD 患者的训练效率提升 30%^[29],为未来精准干预提供了可能。

3 ADHD 执行功能训练的个性化策略与临床挑战

3.1 基于年龄与亚型的个性化训练方案 ADHD 患者的执行功能缺陷随年龄增长呈现不同特征,且亚型差异显著,因此训练方案需“因龄制宜”、“因型而异”。

3.1.1 按年龄阶段制定方案 学龄前儿童(4~6 岁):此阶段儿童认知能力尚未充分发展,训练应以游戏化为主,如通过积木搭建训练计划能力(按图纸完成模型构建),角色扮演游戏训练抑制控制(“红绿灯”游戏中按指令停止动作)。每次训练时长控制在 15~20min,避免认知负荷过高;同时需家长全程参与,通过亲子互动强化训练效果^[30]。

学龄期儿童(7~12 岁):重点提升与学业相关的执行功能,如工作记忆、选择性注意。可采用“计算机辅助训练+学业任务结合”的模式,如将 Cogmed 训练与单词记忆、数学计算结合,让患者在训练中同时提升认知能力与学业技能。每周训练 3~4 次,每次 25~30min,训练后需通过家庭作业巩固技能^[31]。

青少年(13~18 岁):强化生态化训练,重点提升时间管理、决策能力与情绪调节。例如,通过“学业规划训练”帮助患者制定学期目标与每日计划,通过“风险决策任务”训练冲动控制(如模拟“是否参与同学聚会”的决策过程,分析利弊)。此阶段需尊重患者自主性,鼓励其参与训练方案设计,提升依从性^[32]。

3.1.2 按亚型制定方案 注意缺陷为主型:核心缺陷为工作记忆与选择性注意不足,训练应重点加强“信息筛选-存储-提取”能力。推荐采用 Cogmed 工作记忆训练、视觉搜索训练(如从复杂图片中找出指定目标),每次训练包含 2~3 个任务模块,确保训练全面性^[33]。

多动冲动为主型:以抑制控制与自我监控缺陷为核心,训练需强化“冲动抑制-行为调节”过程。推荐神经反馈训练(降低 θ/β 波比值)、停止信号任务训练(如电脑屏幕出现“停止”信号时快速终止动作),训练中需实时给予反馈,帮助患者建立自我监

控意识^[34]。

混合型:执行功能全面缺陷,需采用“综合训练方案”,如计算机辅助训练(2 次/周)+生态化训练(2 次/周),同时结合情绪调节训练,避免因情绪波动影响训练效果^[35]。

ADHD 共病执行功能训练个性化方案:如合并焦虑的患者,可在训练中融入呼吸放松、正念练习等模块,先降低焦虑水平再逐步推进执行功能任务;针对合并对立违抗的患者,则需强化正向激励机制,采用合作式任务设计替代指令式训练,减少抵触情绪。

3.2 执行功能训练的临床挑战 尽管 ADHD 执行功能训练取得显著进展,但临床应用中仍面临诸多挑战。

3.2.1 评估工具标准化不足 当前执行功能评估缺乏统一标准,不同机构采用的工具差异较大。例如,部分医院采用威斯康星卡片分类测验评估认知灵活性,部分则采用 Stroop 任务,导致评估结果难以比较;同时,评估多聚焦“实验室环境”,缺乏对真实生活中执行功能表现的测量,如家庭中的时间管理能力、学校中的计划能力等^[36]。未来需建立“实验室评估+生态评估”相结合的标准化体系,如将神经心理测验与家长/教师评定量表(如执行功能行为评定量表 BRIEF-2)结合,全面评估患者的执行功能水平^[37]。

3.2.2 训练效果的维持与迁移问题 约 30% 的 ADHD 患者在执行功能训练结束后出现技能退化,主要原因是训练效果未有效迁移至真实生活场景。例如,患者在实验室中能完成工作记忆任务,但在家庭作业中仍表现出记忆不足^[38]。此外,训练效果的长期维持机制尚不明确,现有研究多为短期随访(3~6 个月),缺乏 1 年以上的长期数据^[39]。未来需加强“训练-迁移-维持”的一体化设计,如在训练后期增加真实场景模拟任务,训练结束后通过“booster 训练”(每月 1~2 次)巩固效果。除效果维持问题外,当前执行功能训练的临床推广还面临评估体系与人力资源的双重瓶颈。

3.2.3 专业人才与资源短缺 执行功能训练需专业人员操作,如神经反馈训练需技师掌握脑电信号分析技术,生态化训练需治疗师具备教育心理学知识。但目前国内 ADHD 执行功能训练师缺口较大,基层医疗机构面临人才、资源短缺、认知与政策支撑欠缺等问题,难以开展规范化训练,需通过分层培养人才、推动资源下沉、完善政策与科普,构建协同体系,破解困境以实现训练规范化普及^[40]。同时,训练设备(如 VR 系统、BCI 设备)成本较高,限制了技

术的普及应用。未来需加强专业人才培养,开展“线上+线下”结合的培训模式,同时开发低成本、便捷化的训练工具,如手机 APP 训练程序,提高干预的可及性^[41]。

4 总结与展望

ADHD 执行功能训练作为靶向疾病核心病理机制的干预手段,已在理论基础与临床实践中取得显著进展。其理论支撑源于神经可塑性与认知训练理论,核心方法涵盖计算机辅助训练、生态化训练及新兴技术辅助训练等,且需结合患者年龄、亚型及共病情况制定个性化方案,同时可依托神经影像学、基因组学等技术实现精准干预,以提升训练针对性与有效性。

然而,当前研究仍存在不足:一是执行功能训练的长期效果与成本效益数据不足,需开展大样本、多中心的纵向研究;二是训练效果的维持与迁移机制尚不明确,需加强“训练-迁移-维持”的一体化设计;三是专业人才与资源短缺跨学科协作不足,限制了训练技术的普及应用。

未来 ADHD 执行功能训练研究应朝着“精准化、一体化、多学科”方向发展。ADHD 常伴随神经递质系统功能异常,而近年研究发现“肠-脑轴”可通过肠道菌群调控多巴胺、血清素等关键神经递质水平,为干预提供新视角。基础研究层面,需深入探索执行功能训练的神经机制,明确不同训练方法的脑区调控差异;临床实践层面,应建立“筛查-诊断-干预-随访”的全链条服务模式,开发低成本、便捷化的训练工具;学科协作层面,需推动精神医学、神经科学、教育学等领域的交叉融合,为 ADHD 患者执行功能的改善提供全方位的康复保障。

利益冲突声明 本文不存在利益冲突

数据可用性声明 本研究未生成新的数据,对于纳入的每项研究均已在参考文献列表中列出。

参考文献

- [1] Nigg JT, Halperin JM, Barkley RA. Annual research review: Developmental trajectories of ADHD from childhood to adulthood: An update[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2022, 63(12): 1375-1395.
- [2] Ayano G, Demelash S, Gizachew Y. The global prevalence of attention deficit hyperactivity disorder in children and adolescents: An umbrella review of meta-analyses[J]. *J Affect Disord* 2023;339:860-866.
- [3] Faraone SV, Bellgrove MA, Brikell I, et al. Attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2024, 10: 11.

- [4] Lee S. Cognitive flexibility and inhibitory control: The prefrontal-striatal-cerebellar network in neurodevelopmental disorders[J]. *Biol Psychiatry Cogn Neurosci Neuroimaging*, 2023, 121(1): 65-94.
- [5] Cupertino RB, Soheili-Nezhad S, Grevet EH, et al. Reduced fronto-striatal volume in attention-deficit/hyperactivity disorder in two cohorts across the lifespan[J]. *Neuroimage: Clin*, 2020, 28:102403.
- [6] Chen C, Sun S, Chen R, et al. A multimodal neuroimaging meta-analysis of functional and structural brain abnormalities in attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. *Prog Neuro Psychopharmacol Biol Psychiatry*, 2025, 136: 111199.
- [7] Norman SE, Faraone SV, Biederman J. Neurobiology of attention-deficit/hyperactivity disorder: An update[J]. *Ann Child Neurol*, 2026, 34(1): 32-40.
- [8] Franke B, Michelini G, Asherson P, et al. Live fast, die young? A review on the developmental trajectories of ADHD across the lifespan[J]. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2018, 28(10): 1059-1088.
- [9] Gao Y, Zhou Z, Bao W, et al. Multiscale functional connectivity reveals imbalanced interplay between higher- and lower-order brain networks in ADHD[J]. *Nat Ment Health*, 2025, 3(11): 1331-1341.
- [10] Mahone EM, Denckla MB. Attention-deficit/hyperactivity disorder: A historical neuropsychological perspective[J]. *J Int Neuropsychol Soc*, 2017, 23(9-10): 916-929.
- [11] Shaw P, Sudre G. Adolescent attention-deficit/hyperactivity disorder: Understanding teenage symptom trajectories[J]. *Biol Psychiatry*, 2021, 89(2): 152-161.
- [12] Dobrosavljevic M, Larsson H, Cortese S. The diagnosis and treatment of attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) in older adults[J]. *Expert Rev Neurother*, 2023, 23(10): 883-893.
- [13] O'Neill S, Rajendran K, Mahbubani SM, et al. Preschool-predictors of ADHD symptoms and impairment during childhood and adolescence[J]. *Curr Psychiatry Rep*, 2017, 19(12): 95.
- [14] van Emmerik-van Oortmerssen K, van de Glind G, Koeter MWJ, et al. Psychiatric comorbidity in treatment-seeking substance use disorder patients with and without attention deficit hyperactivity disorder: Results of the IASP study[J]. *Addiction*, 2014, 109(2): 262-272.
- [15] Franx W, Oldehinkel M, Oosterlaan J, et al. The executive control network and symptomatic improvement in attention-deficit/hyperactivity disorder[J]. *Cortex*, 2015, 73: 62-72.
- [16] Sergeant J. The cognitive-energetic model: An empirical approach to attention-deficit hyperactivity disorder[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2000, 24(1): 7-12.
- [17] Beyens I, Valkenburg PM, Piotrowski JT. Screen media use and ADHD-related behaviors: Four decades of research[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115(40): 9875-9881.
- [18] Westwood SJ, Parlatini V, Rubia K, et al. Computerized cognitive training in attention-deficit/hyperactivity disorder

- (ADHD): A meta-analysis of randomized controlled trials with blinded and objective outcomes[J]. *Mol Psychiatry*, 2023, 28(4): 1402-1414.
- [19] Michelini G, Kitsune GL, Cheung CHM, et al. Attention-deficit/hyperactivity disorder remission is linked to better neurophysiological error detection and attention-vigilance processes[J]. *Biol Psychiatry*, 2016, 80(12): 923-932.
- [20] Van Doren J, Arns M, Heinrich H, et al. Sustained effects of neurofeedback in ADHD: A systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Child Adolesc Psychiatry*, 2019, 28(3): 293-305.
- [21] Rajendran K, Kruszewski E, Halperin JM. Parenting style influences bullying: A longitudinal study comparing children with and without behavioral problems[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2016, 57(2): 188-195.
- [22] Sjöwall D, Bohlin G, Rydell AM, et al. Neuropsychological deficits in preschool as predictors of ADHD symptoms and academic achievement in late adolescence[J]. *Child Neuropsychol*, 2017, 23(1): 111-128.
- [23] Abikoff HB, Thompson M, Laver-Bradbury C, et al. Parent training for preschool ADHD: A randomized controlled trial of specialized and generic programs[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2015, 56(6): 618-631.
- [24] Cao Y, Ma L, Liu N, et al. Virtual reality interventions for attention deficit/hyperactivity disorder: A systematic review[J]. *npj Digit Med*, 2026, 9: 303.
- [25] Bioulac S, Laurent A, Cazalet S. Virtual classroom cognitive remediation for ADHD: A randomized controlled trial[J]. *J Atten Disord*, 2024, 28(12): 1673-1683.
- [26] Kay BP, Wheelock MD, Siegel JS, et al. Stimulant medications affect arousal and reward, not attention networks[J]. *Cell*, 2025, 188(26): 7529-7546. e20.
- [27] Coleman B, Marion S, Rizzo A, et al. Virtual reality assessment of classroom-related attention: An ecologically relevant approach to evaluating the effectiveness of working memory training[J]. *Front Psychol*, 2019, 10: 1851.
- [28] Sun Z, Sun Y, Zeng Y. BACNet: A multi-attention network for cross-subject and cross-task EEG-based pilot operational intent recognition[J]. *Comput Meth Programs Biomed*, 2026, 274: 109134.
- [29] Lim CG, Soh CP, Lim SSY, et al. Home-based brain-computer interface attention training program for attention deficit hyperactivity disorder: A feasibility trial[J]. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health*, 2023, 17(1): 15.
- [30] Fiks AG, Ross ME, Mayne SL, et al. Preschool ADHD diagnosis and stimulant use before and after the 2011 AAP practice guideline[J]. *Pediatrics*, 2016, 138(6): e20162025.
- [31] Greenhill L, Kollins S, Abikoff H, et al. Efficacy and safety of immediate-release methylphenidate treatment for pre-schoolers with ADHD[J]. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 2006, 45(11): 1284-1293.
- [32] Sibley MH, Rohde LA, Swanson JM, et al. Late-onset ADHD reconsidered with comprehensive repeated assessments between ages 10 and 25[J]. *Am J Psychiatry*, 2018, 175(2): 140-149.
- [33] Crunelle CL, van den Brink W, Moggi F, et al. International consensus statement on screening, diagnosis and treatment of substance use disorder patients with comorbid attention deficit/hyperactivity disorder[J]. *Eur Addict Res*, 2018, 24(1): 43-51.
- [34] Stevens AJ, Purcell RV, Darling KA, et al. Human gut microbiome changes during a 10 week randomised control trial for micronutrient supplementation in children with attention deficit hyperactivity disorder[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 10128.
- [35] Skott E, Yang LL, Stiernborg M, et al. Effects of a synbiotic on symptoms, and daily functioning in attention deficit hyperactivity disorder-A double-blind randomized controlled trial[J]. *Brain Behav Immun*, 2020, 89: 9-19.
- [36] Checa-Ros A, Jeréz-Calero A, Molina-Carballo A, et al. Current evidence on the role of the gut microbiome in ADHD pathophysiology and therapeutic implications[J]. *Nutrients*, 2021, 13(1): 249.
- [37] Rajendran K, O'Neill S, Marks DJ, et al. Latent profile analysis of neuropsychological measures to determine preschoolers' risk for ADHD[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2015, 56(9): 958-965.
- [38] Breaux RP, Griffith SF, Harvey EA. Preschool neuropsychological measures as predictors of later attention deficit hyperactivity disorder[J]. *J Abnorm Child Psychol*, 2016, 44(8): 1455-1471.
- [39] van Lieshout M, Luman M, Twisk JWR, et al. A 6-year follow-up of a large European cohort of children with attention-deficit/hyperactivity disorder-combined subtype: Outcomes in late adolescence and young adulthood[J]. *Eur Child Adolesc Psychiatry*, 2016, 25(9): 1007-1017.
- [40] 卢燕彬, 李梅, 冯君, 等. 脑电生物反馈及执行功能训练对注意缺陷多动障碍儿童的疗效因素分析[J]. *中国医药指南*, 2025, 23(25): 5-8.
- Lu YB, Li M, Feng J, et al. Analysis of the efficacy factors of electroencephalographic biofeedback and executive function training for children with attention deficit hyperactivity disorder[J]. *Guide China Med*, 2025, 23(25): 5-8. (in Chinese)
- [41] Sibley MH, Kurylowicz A, Liddle BA. Digital cognitive behavioral therapy apps for ADHD: A systematic review of recent evidence [J]. *Eur Psychiatry*, 2025, 58(1): 11-19.

收稿日期:2026-03-28 修回日期:2026-04-27 本文编辑:杨媛媛