

儿童注意缺陷多动障碍数字疗法研究进展

巩娟娟^{1,2}, 李兴珍²

¹延安大学延安医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院儿童保健科, 陕西 延安

收稿日期: 2026年7月13日; 录用日期: 2026年8月6日; 发布日期: 2026年8月14日

摘要

儿童注意缺陷多动障碍(ADHD)是高发病率的儿童神经发育障碍性疾病,也是导致青少年学业问题的主要原因,传统治疗是药物加行为训练,但存在长期服药,家长抵触药物副作用、孩子依从性不佳,行为治疗实施受限等问题,严重影响治疗效果。数字疗法依托游戏化认知与行为功能训练、无创神经调控、虚拟现实、眼动追踪等数字化技术成为新型非药物治疗热点,国内外已有获批处方级数字治疗产品,本文系统梳理四类主流数字疗法的临床研究进展,对比国内外研究侧重差异,总结各类技术单用及联合药物、康复、中医方案的协同疗效,同时指出目前所面临的挑战以及未来发展的展望,整合近年临床研究证据,以期儿童ADHD临床治疗与科研创新提供理论参考。

关键词

儿童注意缺陷多动障碍, 数字疗法, 游戏化认知与行为功能训练, 无创神经调控技术, 虚拟现实技术

Research Progress of Digital Therapeutics for Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder

Juanjuan Gong^{1,2}, Xingzhen Li²

¹Yan'an Medical College of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

²Child Health Care Department, Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: July 13, 2026; accepted: August 6, 2026; published: August 14, 2026

Abstract

Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is a highly prevalent neurodevelopmental disorder

in children and a leading cause of academic difficulties among adolescents. Conventional treatments combine pharmacotherapy with behavioral training, yet their therapeutic effects are severely compromised by several limitations, including long-term medication administration, parental concerns over drug side effects, poor treatment adherence in children, and constraints on the implementation of behavioral interventions. Digital therapeutics (DTx), supported by digital technologies such as gamified cognitive-behavioral training, non-invasive neuromodulation, virtual reality, and eye-tracking, have emerged as a popular novel non-pharmacological intervention. Prescription-grade digital therapeutic products have been approved both domestically and internationally. This paper systematically reviews clinical research advances in four mainstream categories of digital therapeutics, compares the research priorities between China and foreign countries, and summarizes the synergistic efficacy of each technology when used alone or combined with medications, rehabilitation programs, and traditional Chinese medicine regimens. It also addresses existing challenges and prospects for future development, integrating clinical evidence published in recent years to provide theoretical references for clinical intervention and scientific innovation in pediatric ADHD.

Keywords

Pediatric Attention Deficit Hyperactivity Disorder, Digital Therapeutics, Gamified Cognitive-Behavioral Functional Training, Non-Invasive Neuromodulation Technology, Virtual Reality Technology

Copyright © 2026 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

注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)是一种高发于儿童期的神经发育障碍性疾病,其核心特征为注意力难以维持、行为过度活跃及冲动难以控制,常对患儿的学业成就、社会交往及情绪调节造成持续而深远的损害[1]。全球儿童 ADHD 患病率约为 7.2%,半数以上患儿的核心症状可延续至青春期乃至成年期,不仅显著增加共患其他精神或行为障碍的风险,还会对其成年后的工作表现、生活质量及人际关系产生长久的负面影响[1]。目前,临床主流干预手段包括中枢兴奋剂、非兴奋剂类药物及行为训练等。药物虽能快速缓解核心症状,但多数家长因担忧副作用及药物依赖而抵触长期服药;行为训练则受限于场地条件、干预周期较长、长期随访难以落实等因素,整体依从性欠佳[2]。因此,临床实践中亟待一种更安全、更便捷、更易被患儿及家长接受的新型治疗方式。

近年来,伴随移动互联网及游戏化设计技术的快速发展,数字疗法(Digital Therapeutics, DTx)正逐步崭露头角,成为儿童 ADHD 非药物治疗领域的重要补充形式。数字疗法依托游戏化交互、脑电反馈、虚拟现实及人工智能自适应调节等前沿技术,构建出安全、可居家实施的非药物治疗路径,近年来迅速跃升为 ADHD 儿童治疗研究的热点方向[3]。与普通健康类应用程序不同,数字疗法须完成严格的临床试验验证,并通过药品监管部门审批,其以软件为核心治疗载体,能够实时采集行为、脑电、运动生理等多方面数据,动态调整训练难度,契合儿童通过游戏进行学习的心理与行为特点,进而显著提升长期治疗的依从性[4][5]。2020 年,美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准了全球首款处方级游戏化 ADHD 数字疗法 EndeavorRx (AKL-T01);2023 年,我国首款自主研发的 ADHD 数字药物专数达®通过国家药品监督管理局(National Medical Products Administration, NMPA)审批,标志着我国数字疗法已从基础研究迈入临床落地的新阶段[3]。近年来多项研究证实,数字疗法能够显著改善儿童的注

注意力缺陷、多动冲动等核心功能[6][7]。该疗法既可作为轻症患儿的独立干预方案,也可联合药物或行为治疗,用于中重度患儿的辅助治疗[8]。本文系统梳理儿童 ADHD 数字疗法的主流技术类型及临床应用进展,分析当前面临的挑战,并展望未来发展方向,整合近年来的临床研究证据,以期为临床实践与科研创新提供理论参考。

2. 主流技术类型及应用进展

儿童注意缺陷多动障碍(ADHD)的数字疗法,目前主要包含以下几大方向:游戏化认知与行为功能训练、无创性神经调控技术、虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术及其他数字疗法。

2.1. 游戏化认知与行为功能训练

游戏化认知与行为功能训练是当前证据最为集中、临床应用最广泛的 ADHD 数字疗法类型[9]。它通过趣味化游戏提升患儿训练依从性,精准训练工作记忆、持续性注意及冲动控制等受损功能,临床研究显示其对注意力涣散、多动冲动等核心症状具有明确改善效果[8][9]。它与神经反馈、VR 技术的联合应用可进一步增强神经调控效应,形成协同优势[10]。该疗法通常作为轻中度 ADHD 患儿的非药物治疗选择,也可与药物治疗、家庭行为管理协同使用[8]。不过,目前训练效果能否稳定迁移到日常生活和学校场景中,证据尚不充分,仍有待更多高质量、大样本的 RCT 进一步验证[8]-[10]。

Lee 等通过多中心随机试验证实,数字治疗性游戏能够显著改善 ADHD 儿童的执行功能,尤其在抑制控制和工作记忆方面表现出持续获益[11];Kirk 等通过为期 5 周的双盲随机对照试验表明,数字游戏能够有效减轻 ADHD 儿童的注意力问题,这一效果在治疗结束后仍有一定程度的延续[12]。Mikami 等的 3 期随机对照研究表明,双任务数字设备 SDT-001 作为标准治疗的辅助手段,可有效管理儿童青少年 ADHD 的核心症状,且安全性良好,耐受性与药物相当[13];Kim S-C 等的研究表明,游戏型数字疗法可作为 ADHD 儿童的有效辅助治疗方式,能够在家庭环境中便捷实施,提升治疗依从性[14];Kollins 等通过多中心研究证实,游戏化数字治疗作为药物的辅助治疗手段,能够为正在接受药物治疗的儿科 ADHD 患者提供额外的症状缓解,尤其在傍晚药效消退时为著[15]。Richmond 等则提出了数字认知训练在 ADHD 儿童中的随机对照试验研究方案,旨在为进一步验证数字疗法的长期效益提供方法学框架[16]。Kim J-S 等的研究表明,数字疗法中任务难度的动态调节与 ADHD 症状改善之间存在显著关联,适当挑战性的任务设置有助于维持患儿注意力投入并优化治疗效果[17]。Medina 等通过随机对照试验揭示了人工智能(Artificial Intelligence, AI)驱动的数字疗法能够引发显著的脑电生理变化,且这些神经可塑性改变与行为学层面的认知功能改善之间存在显著的相关性,为数字疗法的神经机制提供了初步证据支持[18]。Oh 等及 Liu 等的 Meta 分析均表明,游戏化数字疗法对 ADHD 整体有效,但效应量较小,未来需更大样本、更长随访的高质量研究加以验证[6][19]。

与国际市场相比,国内 ADHD 数字疗法虽起步较晚,但发展迅速。近来国内有多项研究围绕数字化游戏类治疗手段在儿童 ADHD 治疗中的应用展开探索。Bao 等的研究表明,视频游戏类数字疗法在中国 ADHD 儿童群体中具有良好的可行性和安全性,患儿接受度高且不良事件轻微[20];Huang 等的研究表明,数字疗法对 ADHD 儿童的治疗效果体现在多项行为中,包括课堂注意力提升和冲动行为减少[2]。Zhao L 等通过随机对照试验证实,数字认知-身体联合干预能够有效改善 ADHD 儿童的注意力和执行功能,且干预效果在训练结束后仍有一定维持趋势[21];而张锦等人则聚焦学龄前群体,证实互动式游戏与认知行为治疗联合能够改善该年龄段患儿相关临床症状,为不同年龄阶段 ADHD 儿童数字化康复方案提供理论与临床依据[22]。路静通过研究证实计算机辅助注意力训练可用于 ADHD 的针对性治疗,为数字化认知训练在临床推广提供了初步依据[23];Dang 等的研究表明,数字靶向认知训练在 ADHD 常规药物

治疗基础上具有显著的增效作用[24]; Chen 等的研究表明, 数字疗法可显著增强哌甲酯对 ADHD 儿童的神经认知效应, 表现为前额叶激活模式优化及反应时变异性的降低[25]。Yan 等研究表明, 将单通道脑电神经反馈技术整合至视频游戏数字疗法中, 可实现对 ADHD 患儿脑电节律的实时调节, 进而增强治疗的个体化和神经可塑性效应[26]。罗杰等梳理相关文献后系统总结了视频游戏在 ADHD 患儿评估与临床治疗中的双重应用价值, 但现有研究质量参差不齐, 需进一步规范化和标准化, 与国际上 Lin 等、Oh 等的 Meta 分析形成呼应[10]。

2.2. 无创性神经调控技术

无创性神经调控技术是儿童 ADHD 新型治疗方法, 主要包括经颅电、磁刺激(如经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)、重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS))和脑电神经反馈(脑机接口), 前者通过头皮施加微弱脉冲电流调节前额叶皮层神经元静息膜电位, 后者则利用实时脑波反馈训练强化自我调节环路的可塑性, 进而改善工作记忆、抑制控制等执行功能缺陷, 临床表现为注意力提升及多动、冲动症状缓解[27] [28]。其操作便捷, 适用于居家辅助治疗, 常与认知训练、行为干预联合使用以协同增效。整体安全性良好, 尤其为不愿用药或药物反应欠佳的患儿提供了替代或补充路径[29]。然而, 治疗效果高度依赖于规范化的疗程设计及个体化参数设置, 临床实施需严格遵循专业评估与动态调整原则[27] [28]。

Krauel 等通过随机临床试验表明, 前额叶经颅直流电刺激(tDCS)在儿童 ADHD 中展现出一定的治疗潜力, 但效应量较小, 且个体间反应差异较大, 提示该治疗方式在推广前需进一步明确影响因素[30]。Kwon 等的随机对照试验表明, 基于移动设备的神经反馈训练可有效改善 ADHD 儿童的注意力核心症状, 且居家训练的模式具有良好的可行性, 为神经反馈的便捷化应用提供了初步证据[31]; Lim 等的可行性试验表明, 基于家庭环境的脑机接口注意力训练程序在 ADHD 患儿中具有较好的可接受性和安全性, 提示将脑机接口技术引入日常管理场景具备实操潜力[32]。Zheng 等通过随机对照试验探索近红外光谱神经反馈训练联合虚拟现实技术对 ADHD 儿童的干预效果, 为未来多模态神经反馈治疗的高质量证据积累提供了方法学框架[33]。

国际上多以游戏化认知与行为功能训练为主, 而国内则以经颅电、磁刺激和脑电神经反馈等神经调控技术为核心。董莹盈等发现经颅直流电刺激(tDCS)有助于增强自我意识与自我控制能力[34]; 殷瑶等证实高精度经颅直流电刺激(high-definition transcranial direct current stimulation, HD-tDCS)可通过改善“冷”执行功能提升患儿注意力[35]。黄琦等的研究证明了阶梯式团体脑电生物反馈对核心症状的改善作用[36]。然而, 更多的研究聚焦于联合疗法的协同效应, 其中药物联合脑电生物反馈是最常见的组合: 胡冰玉等、张沥文等分别将盐酸托莫西汀或盐酸哌甲酯与脑电生物反馈联用, 证实其能调节脑血流和血清皮质醇水平[37] [38]; 赵方等及李雯洁等更进一步加入感统训练或小儿智力糖浆形成三联疗法, 使临床总有效率显著提高[39] [40]。重复经颅磁刺激的联合应用同样广泛, 徐姝蕊等将其与心理行为干预结合[41], 靖新丽等联合社交康复训练[42], 梁冠军等配合感统训练[43], 张思思等引入 VR 体感游戏[44], 均显示出对核心症状、执行功能及社交能力的协同改善; 郑丁权与李超等则分别将 rTMS 与中药汤剂联用, 证实对共患抽动症的患儿同样有效, 且疗效与中医辨证分型密切相关[45] [46]。此外, 郭燕卿发现 tDCS 联合感统训练可改善抑制控制功能[47]; 卢燕彬等则验证了脑电生物反馈联合执行功能训练对核心症状的改善作用[48]; 骆祥芬及修义烽等验证了脑电生物反馈与感统训练多种组合方案的有效性 & 疗效差异[49] [50], 高阳等则在上述基础上加入清热养阴柔肝汤形成三联疗法, 体现“标本兼治”思路[51], 童雪羽等以阴阳平衡针法辅助脑电生物反馈与感统训练, 进一步拓展了中西医结合的治疗路径[52]。值得关注的是, 蔡元浩等的非劣效性试验表明非侵入式脑机接口技术在改善核心症状上不劣于常规治疗, 为 ADHD 的数字化

治疗提供了新证据[53]。综上所述, ADHD 的治疗正从单一疗法向多元化、个体化的联合干预方向发展, 中西医结合、药物与非药物协同以及新兴数字疗法的融入, 共同构成了当前研究的显著趋势, 但大样本、多中心、标准对照的高质量 RCT 仍相对不足。

2.3. 虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术

虚拟现实(VR)技术通过构建沉浸式虚拟环境, 为 ADHD 儿童提供贴近日常生活的认知行为训练场景。其核心优势在于能够针对性地训练持续性注意、冲动控制等执行功能, 同时凭借较强的趣味性和交互性, 有效提升患儿治疗依从性, 并促进训练获益向真实学习生活情境的迁移[54][55]。VR 训练常与药物治疗、神经反馈等方案协同使用[54]。然而, 当前该技术在临床推广中仍面临设备硬件适配性不足、患儿个体耐受度差异较大、统一标准化训练流程缺失等现实瓶颈, 其规范化临床方案的建立尚需进一步循证优化与多中心验证[54][55]。

Aldakhil 的研究表明, 基于人工智能的游乐活动不仅在 ADHD 患儿核心症状层面产生积极影响, 还在情绪调节、同伴交往和家庭功能等维度表现出广泛的改善效果[56]。Wong 等通过随机对照试验表明, 基于虚拟现实的社交干预在提高 ADHD 患儿社交技能、情感识别能力和同伴互动方面均优于传统训练方式, 表明 VR 技术所提供的沉浸式、多场景社交模拟环境可能有效弥补 ADHD 儿童在真实社交情境中的练习机会不足, 为社交功能治疗开辟了新路径[57]。

国内 VR/体感游戏研究起步较晚, 以小样本临床试验为主, 但已初步形成从机制探索到临床疗效再到真实场景应用的完整证据链雏形; 但目前仍缺少统一标准化干预方案, 长期干预的持续效果仍需进一步深入研究。吴晨超研究表明, 虚拟现实儿童注意力训练系统对 ADHD 具有治疗效果, 为 VR 系统的本土化开发提供了初步证据[58]; 钱秀莲的研究表明, 虚拟现实技术应用于 ADHD 儿童康复训练具有效果, 为早期 VR 技术研究奠定了基础[59]。蔡子耀等的研究表明, 虚拟现实认知训练作为辅助治疗可改善 ADHD 儿童症状, 为 VR 技术在临床推广提供了循证依据[60]; 何苑敏等的研究表明, VR 技术治疗 ADHD 患儿可观察到分数低频波动幅度的变化, 为 VR 技术的神经机制提供了影像学证据[61]。江姝的研究表明, 体感游戏训练可改善 ADHD 儿童的课堂不专注行为, 为体感游戏在真实课堂场景中的应用提供了可行性依据[62]; 贾雯旭等的研究进展表明, 体感游戏可改善 ADHD 儿童的执行功能, 但现有证据质量参差不齐, 需进一步高质量研究验证[63]。

2.4. 其他数字疗法

Kim S-C 等的研究表明, 基于眼动追踪的自适应数字疗法能够有效识别 ADHD 儿童的注意力模式, 并通过实时调整学习引导策略来提升治疗效果, 眼动指标的动态变化可作为评估训练成效的客观生物标记物, 为精准化数字治疗提供了新的技术路径[64]。Khanahmadi 等的可行性研究表明, 基于智能手机的感官饮食应用程序在改善 ADHD 儿童症状方面具有初步可行性, 患儿及家长对该应用的可接受度较高, 但该研究仅为可行性阶段, 其确切疗效尚需大样本随机对照试验进一步验证[65]。

鲍梦依等人与史若琳、何凡的综述系统梳理 ADHD 数字疗法现有研究证据, 拓宽了该领域技术与临床研究视角, 前者解析了神经反馈、认知训练、虚拟现实等数字药物调节前额叶功能的作用机制, 提出其可填补哌甲酯类药物药效消退的干预空白, 并证实脑电、眼动等数字生物标志物可预测个体化治疗效果[3], 后者则构建了涵盖筛查、评估、治疗、随访的 ADHD 数字化全病程闭环管理框架, 对比国内外产品后指出国内在核心算法研发、监管审批、医保配套上存在不足[66]; 两篇文章共同指出, ADHD 数字疗法现已从单一认知训练转向多模态精准干预、医患家庭联动的全周期数字化管理模式, 但长期疗效佐证、个性化匹配方案及国内临床落地转化仍存在诸多难点。

3. 儿童 ADHD 数字疗法挑战与展望

目前, 儿童 ADHD 数字疗法已积累了大量临床证据, 部分治疗技术正逐步向实际应用转化, 但其规范化推广仍面临多重制约。从研究层面看, 各临床试验在治疗方案、训练参数及疗程设定上异质性突出[6], 致使结果可比性受限。同时, 多数研究在安慰剂效应的控制上仍有设计短板, 治疗效果多局限于实验室情境下, 向课堂、家庭等真实场景的迁移能力尚缺乏充分验证[7]。此外, 长期随访资料的匮乏削弱了对疗效持续性的判断[67], 数字疗法的远期价值有待系统评估。从应用层面看, 设备成本偏高、低龄儿童佩戴舒适度不足等问题制约了家庭场景下的可接受性; 市场上大量未经临床验证的“注意力训练”软件泛滥, 亦增加了临床决策的识别成本[9]。综合现有证据, 数字疗法尚不具备替代传统治疗方案的成熟条件, 更宜定位为药物治疗与行为训练的辅助干预工具[7]。

尽管挑战重重, 数字疗法在儿童 ADHD 治疗领域仍展现出值得关注的发展潜力。现有 Meta 分析已确认其在改善注意力维持及部分执行功能方面的稳定疗效[6][7], 且在治疗依从性方面显示出传统手段难以替代的独特优势。虚拟现实(VR)技术治疗的初步证据亦提示其在认知改善方面的应用前景[67][68], 而神经反馈训练的网状 Meta 分析则为不同治疗方案的优选提供了比较依据[69]。目前, ADHD 数字化治疗面临四大核心临床瓶颈: 缺乏基于多模态生物标志物的精准分型匹配标准, 固定难度参数无法适应患儿实时状态波动, 训练效果难以迁移至真实生活场景, 以及多技术联合干预的协同机制与最优方案尚不明确。针对上述问题, 应依托全国多中心数据库与机器学习聚类算法构建 AI 分型预测模型, 实现“先评估、后匹配”的个体化方案推荐; 通过嵌入式实时 AI 推理模块动态调控训练参数, 锁定神经可塑性最佳窗口; 搭建全场景沉浸式 VR 训练库并联动家庭微任务, 打通“院内-居家-校园”行为巩固闭环; 同时设计析因随机对照试验与网状 Meta 分析, 量化单模态与多模态组合的独立及协同效应, 最终集成一体化多模态数字治疗终端, 形成标准化联合干预流程, 推动 ADHD 数字疗法从经验化走向精准化、动态化与场景化。展望未来, 该领域亟需从以下方向着力突破: 其一, 推动 VR、脑机接口与神经调控等多模态技术的深度融合; 其二, 加快低成本设备的研发, 降低技术落地现实生活的门槛; 其三, 建立标准化治疗疗程与疗效评估框架, 并依托大样本、长期随访的 RCT 研究, 系统探讨不同技术的适应人群与疗效差异。通过以上举措全方位提升数字疗法的可靠性, 为其最终融入儿童 ADHD 规范化与个体化诊疗体系奠定坚实基础证据基础。

4. 总结

综上, 儿童 ADHD 数字疗法凭借居家便捷、趣味性强、依从性优于传统治疗的优势, 形成游戏化认知与行为功能训练、无创神经调控、VR 沉浸式治疗及多种辅助工具并行、多种其他疗法联合增效的发展格局, 国外成熟推进游戏化数字治疗与标准化大样本试验, 国内实现自主数字药物临床落地并深耕神经调控与中西医联合治疗, 但仍存在试验方案不统一、真实场景迁移效果存疑、远期疗效数据缺失、硬件成本高、市场产品良莠不齐等短板, 现阶段仅可作为药物与行为治疗的辅助手段。当前 ADHD 数字疗法从临床试验走向临床应用仍面临“最后一公里”转化壁垒, 集中体现在四大维度: 临床端缺乏处方开具与评估随访的标准化决策流程, 医生难以界定单用或联合用药的适用边界; 体系端尚未与药物、行为干预、中医等现有多模式治疗形成固定协同方案, 基层资源配置不均; 数据端涉及儿童脑电、眼动、行为等敏感信息, 隐私安全与权属规范缺失; 产业端监管审批细则不完善, 医保支付覆盖不足, 大量未经验证的普通软件混淆市场。针对上述瓶颈, 落地路径包括: 出台儿科专家共识并搭建医院端数字化管理平台, 规范处方与随访流程; 构建分层联合诊疗路径, 投放基层便携设备并打通三级干预链条; 依据相关法规制定数据专项规范, 采用本地加密传输, 明确数据权属归患儿家庭; 完善数字医疗器械分类审批与

真实世界监测, 推动纳入医保及商业保险, 建立市场准入白名单, 从临床、体系、数据、政策四端协同发力, 推动数字疗法真正融入常规诊疗生态。展望未来, 后续需深度融合 VR、神经调控多模态技术, 研发低成本设备, 建立统一疗效评估标准, 开展长期多中心随机对照研究, 搭建筛查-评估-治疗-随访数字化闭环管理体系, 逐步推动数字疗法规范化融入 ADHD 个体化常规诊疗, 充分释放其临床应用价值。

基金项目

《延安市学龄前期、学龄期儿童 ADHD 流行现状调查》, 项目编号: 2022PT-05。

参考文献

- [1] 中华医学会儿科学分会发育行为学组. 注意缺陷多动障碍早期识别、规范诊断和治疗的儿科专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2020, 58(3): 188-193.
- [2] Huang, S., Zhang, T., Lu, Q., Xiong, X., Liu, Z. and Sun, D. (2024) Clinical Study on the Intervention Effect of Digital Therapy on Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Scientific Reports*, **14**, Article No. 23733. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73934-3>
- [3] 鲍梦依, 赵家靖, 严晨毓, 等. 儿童 ADHD 数字药物的神经机制、应用进展与临床挑战[J]. 中国现代应用药学, 2025, 42(22): 3945-3953.
- [4] Vasdev, N., Gupta, T., Pawar, B., Bain, A. and Tekade, R.K. (2024) Navigating the Future of Health Care with AI-Driven Digital Therapeutics. *Drug Discovery Today*, **29**, Article 104110. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2024.104110>
- [5] Schmidt, L., Langenberger, B., Schirmann, F., Reif, S. and Stern, A.D. (2026) Mechanisms of Action for Digital Therapeutics. *npj Digital Medicine*, **9**, Article No. 274. <https://doi.org/10.1038/s41746-026-02502-y>
- [6] Oh, S., Choi, J., Han, D.H. and Kim, E. (2024) Effects of Game-Based Digital Therapeutics on Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Children and Adolescents as Assessed by Parents or Teachers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Child & Adolescent Psychiatry*, **33**, 481-493. <https://doi.org/10.1007/s00787-023-02174-z>
- [7] Liu, X., Yang, Y., Ye, Z., Wang, F., Zeng, K., Sun, Y., et al. (2024) The Effect of Digital Interventions on Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Affective Disorders*, **365**, 563-577. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.08.156>
- [8] 李文悦, 陈玉瑶, 赵云杉, 等. 严肃游戏在注意缺陷多动障碍儿童康复中的应用进展[J]. 心理月刊, 2024, 19(21): 228-230+240.
- [9] 杨新宇, 王淑玲, 李鑫, 等. 严肃游戏对儿童注意缺陷多动障碍干预效果的系统综述再评价[J]. 中国儿童保健杂志, 2026, 34(6): 642-648.
- [10] 罗杰, 何凡, 郑毅. 视频游戏应用于儿童注意缺陷多动障碍评估与治疗的系统性综述[J]. 发育医学电子杂志, 2023, 11(6): 401-410.
- [11] Lee, S., Lim, Y.B., Choi, W., Park, S., Han, B., Lee, S., et al. (2026) Multicenter Randomized Trial of a Digital Therapeutic Game for Executive Function in Children with ADHD. *npj Digital Medicine*. <https://doi.org/10.1038/s41746-026-02721-3>
- [12] Kirk, H.E., Richmond, S., Gaunson, T., Bennett, M., Herschtal, A., Bellgrove, M., et al. (2024) A 5-Week Digital Intervention to Reduce Attention Problems in Children with ADHD: A Double-Blind Randomized Controlled Trial. *Journal of Attention Disorders*, **28**, 1454-1466. <https://doi.org/10.1177/10870547241256269>
- [13] Mikami, K., Miyajima, T., Nishino, R., Kawazoe, N., Kinoshita, Y., Okada, T., et al. (2025) Efficacy and Safety of SDT-001, a Dual-Task Digital Device, in Managing Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Symptoms in Children and Adolescents: A Phase 3, Randomized, Standard Treatment-Controlled Study. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, **79**, 447-457. <https://doi.org/10.1111/pcn.13833>
- [14] Kim, S.C., Lee, H., Lee, H.S., Kim, G. and Song, J.H. (2022) Adjuvant Therapy for Attention in Children with ADHD Using Game-Type Digital Therapy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 14982. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214982>
- [15] Kollins, S.H., Childress, A., Heusser, A.C. and Lutz, J. (2021) Effectiveness of a Digital Therapeutic as Adjunct to Treatment with Medication in Pediatric ADHD. *npj Digital Medicine*, **4**, Article No. 58. <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00429-0>
- [16] Richmond, S., Kirk, H., Gaunson, T., Bennett, M., Bellgrove, M.A. and Cornish, K. (2022) Digital Cognitive Training in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Study Protocol of a Randomised Controlled Trial. *BMJ*

- Open*, **12**, e055385. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-055385>
- [17] Kim, J.S., Kim, S.J., Ryu, G., Jun, S.J., Park, J.Y., Kim, M.J., *et al.* (2026) Association between Task Difficulty Regulation in Game-Based Digital Therapeutics and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Symptoms in Children: Secondary Analysis of a Randomized Controlled Trial. *JMIR Serious Games*, **14**, e83932. <https://doi.org/10.2196/83932>
 - [18] Medina, R., Bouhaben, J., de Ramón, I., Cuesta, P., Antón-Toro, L., Pacios, J., *et al.* (2021) Electrophysiological Brain Changes Associated with Cognitive Improvement in a Pediatric Attention Deficit Hyperactivity Disorder Digital Artificial Intelligence-Driven Intervention: Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, **23**, e25466. <https://doi.org/10.2196/25466>
 - [19] Lin, J. and Chang, W.R. (2025) Effectiveness of Serious Games as Digital Therapeutics for Enhancing the Abilities of Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): Systematic Literature Review. *JMIR Serious Games*, **13**, e60937. <https://doi.org/10.2196/60937>
 - [20] Bao, M., Feng, S., Wang, J., Ye, J., Wang, J., Li, W., *et al.* (2026) Efficacy and Safety of a Video Game-Like Digital Therapy Intervention for Chinese Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Single-Arm, Open-Label Pre-Post Study. *JMIR Serious Games*, **14**, e76114. <https://doi.org/10.2196/76114>
 - [21] Zhao, L., Agazzi, H., Du, Y., Meng, H., Maku, R., Li, K., *et al.* (2024) A Digital Cognitive-Physical Intervention for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, **26**, e55569. <https://doi.org/10.2196/55569>
 - [22] 张锦, 张海涛, 吴辉颜, 等. 互动式游戏联合认知行为治疗对学龄前注意力缺陷多动障碍患儿的影响[J]. 医学理论与实践, 2025, 38(7): 1244-1247.
 - [23] 路静. 计算机辅助注意力训练干预注意缺陷多动障碍的研究[D]: [硕士学位论文]. 银川: 宁夏医科大学, 2021.
 - [24] Dang, C., Zhu, Y., Luo, X., Liu, L., Feng, Y., Wu, G., *et al.* (2025) The Promoting Effects of Digital Targeted Cognitive Training in Medication Treatment for Children with ADHD: A Randomized Controlled Trial. *BMC Medicine*, **23**, Article No. 371. <https://doi.org/10.1186/s12916-025-04192-x>
 - [25] Chen, X., Wang, S., Yang, X., Yu, C., Ni, F., Yang, J., *et al.* (2026) Enhancing Methylphenidate's Neurocognitive Effects in Pediatric ADHD with Adaptive Digital Therapy: A Randomized Controlled Trial. *Psychology Research and Behavior Management*, **19**, 1-14. <https://doi.org/10.2147/prbm.s550150>
 - [26] Yan, C., Liu, Y., Zhao, J., Bao, M., Zhou, Q., Feng, S., *et al.* (2026) Integrating Single-Channel EEG Neurofeedback into Video Game-Based Digital Therapeutics for ADHD. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **23**, Article No. 124. <https://doi.org/10.1186/s12984-026-01918-7>
 - [27] 王新月, 王昕, 杨健. 经颅直流电刺激应用于儿童青少年注意缺陷多动障碍治疗研究进展[J]. 中国实用儿科杂志, 2025, 40(10): 853-859.
 - [28] 张永丽, 王巍巍, 韦仕菊, 等. 非侵入式脑机接口在儿童注意缺陷多动障碍中的应用进展[J]. 现代仪器与医疗, 2025, 31(5): 1-8.
 - [29] 刘海润, 覃荣山, 秦岭. 无创性神经调控技术在儿童注意缺陷多动障碍治疗中的研究进展[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(7): 558-560.
 - [30] Krauel, K., Brauer, H., Breitling-Ziegler, C., Freitag, C.M., Luckhardt, C., Mühlherr, A., *et al.* (2025) Prefrontal Transcranial Direct Current Stimulation in Pediatric Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *JAMA Network Open*, **8**, e2460477. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.60477>
 - [31] Kwon, S.Y., Seo, G., Jang, M., Shin, H., Choi, W., Lim, Y.B., *et al.* (2024) The Effect of Mobile Neurofeedback Training in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Randomized Controlled Trial. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, **22**, 67-78. <https://doi.org/10.9758/cpn.23.1054>
 - [32] Lim, C.G., Soh, C.P., Lim, S.S.Y., Fung, D.S.S., Guan, C. and Lee, T. (2023) Home-Based Brain-Computer Interface Attention Training Program for Attention Deficit Hyperactivity Disorder: A Feasibility Trial. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, **17**, Article No. 15. <https://doi.org/10.1186/s13034-022-00539-x>
 - [33] Zheng, Q., Kei, K.T., Chiu, K.Y. and Shum, K.K. (2024) Study Protocol of a Randomised Controlled Trial of the Effects of Near-Infrared Spectroscopy Neurofeedback Training Coupled with Virtual Reality Technology in Children with ADHD. *BMJ Open*, **14**, e093183. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-093183>
 - [34] 董莹盈, 任雪英, 郭平, 等. 经颅直流电刺激对注意缺陷多动障碍者自我意识及自我控制的影响[J]. 国际精神病学杂志, 2022, 49(6): 1011-1014, 1027.
 - [35] 殷瑶. 高精度经颅直流电刺激(HD-tDCS)对注意缺陷多动障碍儿童注意力的提升作用: 基于“冷”执行功能视角[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2025.
 - [36] 黄琦, 李国凯, 钱沁芳, 等. 阶梯式团体脑电生物反馈治疗注意缺陷多动障碍患儿的效果观察[J]. 福建医药杂志,

- 2023, 45(3): 32-35.
- [37] 胡冰玉, 孙宏伟, 宋兵. 脑电生物反馈联合盐酸托莫西汀治疗儿童注意缺陷多动障碍的临床疗效及其对患儿脑血流和血清皮质醇水平的影响[J]. 临床和实验医学杂志, 2025, 24(11): 1191-1194.
- [38] 张沥文, 秦星, 李娟, 等. 脑电生物反馈联合盐酸哌甲酯治疗儿童注意缺陷多动障碍的疗效及对脑血流和血清皮质醇水平的影响[J]. 中国儿童保健杂志, 2024, 32(10): 1135-1139.
- [39] 赵方, 孟春霞, 刘波. 盐酸哌甲酯缓释片联合脑电生物反馈加感统训练治疗儿童注意缺陷多动障碍的临床疗效分析[J]. 中外医疗, 2024, 43(29): 55-58.
- [40] 李雯洁, 宋雨莲, 郭全岭. 小儿智力糖浆与哌甲酯联合脑电生物反馈治疗儿童注意缺陷多动障碍的临床研究[J]. 中国实用医刊, 2025, 52(9): 72-74.
- [41] 徐姝蕊, 杨茂巍, 詹佳宏, 等. rTMS 联合心理行为干预对 ADHD 儿童核心症状、行为问题和执行功能的影响研究[J]. 医药前沿, 2026, 16(4): 113-116, 120.
- [42] 靖新丽, 朱敏, 牛雨佳. 重复经颅磁刺激联合社交康复训练治疗注意缺陷多动障碍儿童临床研究[J]. 康复学报, 2024, 34(2): 145-152.
- [43] 梁冠军, 李明娣, 陈小明, 等. 重复经颅磁刺激联合感觉统合训练对注意缺陷多动障碍儿童的疗效观察[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2022, 43(9): 846-850.
- [44] 张思思, 刘小红. 重复经颅磁刺激及 VR 体感游戏在儿童注意缺陷多动障碍中的应用效果研究[J]. 中国妇幼保健研究, 2025, 36(5): 1-7.
- [45] 郑丁权. 中药汤剂联合经颅磁治疗儿童注意缺陷多动障碍共患抽动症的临床疗效及辨证分型研究[J]. 黑龙江中医药, 2025, 54(5): 439-441.
- [46] 李超, 林丽红. 清热养阴柔肝汤联合重复经颅磁刺激治疗儿童注意缺陷多动障碍临床研究[J]. 新中医, 2022, 54(13): 112-115.
- [47] 郭燕卿. tDCS 联合感统训练对 ADHD 儿童抑制控制的干预研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 济南大学, 2024.
- [48] 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.
- [49] 骆祥芬. 不同的非药物治疗方式联合脑电生物反馈对儿童注意缺陷多动障碍的疗效分析[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽医科大学, 2024.
- [50] 修义烽, 吴翊馨, 李丹. 感觉统合训练联合生物反馈疗法对注意缺陷多动障碍儿童干预效果研究[C]//中国体育科学学会. 第十三届全国体育科学大会论文摘要集——墙报交流(运动心理分会) (一). 沈阳体育学院, 双鸭山中心医院, 2023: 350-352.
- [51] 高阳, 艾义晓, 王珂, 等. 清热养阴柔肝汤联合脑电生物反馈加感统训练对注意缺陷多动障碍儿童核心症状和执行功能的影响[J]. 辽宁中医杂志, 2024, 51(5): 79-82.
- [52] 童雪羽, 潘晓琤, 李霞, 等. 阴阳平衡针法辅助脑电生物反馈与感统训练治疗儿童多动症的临床观察[J]. 中国中医药科技, 2024, 31(6): 1032-1034.
- [53] 蔡元浩, 赵曦, 郝文笔, 等. 数字疗法治疗儿童注意缺陷多动障碍的非劣效性随机对照试验[J]. 中国儿童保健杂志, 2026, 34(6): 594-600.
- [54] 冯玉, 安英萍, 谭川雪, 等. 虚拟现实技术在注意缺陷多动障碍诊断治疗领域的新进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2026, 34(3): 344-348.
- [55] 李玮莹, 刘燕, 吴绪波. 虚拟现实技术在注意缺陷多动障碍治疗中的应用及机制[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2025, 34(10): 955-960.
- [56] Aldakhil, A.F. (2024) Investigating the Impact of an AI-Based Play Activities Intervention on the Quality of Life of School-Aged Children with ADHD. *Research in Developmental Disabilities*, **154**, 104858. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2024.104858>
- [57] Wong, K.P., Zhang, B., Lai, C.Y.Y., Xie, Y.J., Li, Y., Li, C., *et al.* (2024) Empowering Social Growth through Virtual Reality-Based Intervention for Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: 3-Arm Randomized Controlled Trial. *JMIR Serious Games*, **12**, e58963. <https://doi.org/10.2196/58963>
- [58] 吴晨超. 虚拟现实儿童注意力训练系统应用于注意缺陷多动障碍的干预效果研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江中医药大学, 2023.
- [59] 钱秀莲. 虚拟现实技术应用于注意缺陷与多动障碍儿童康复训练的效果研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江中

- 医药大学, 2022.
- [60] 蔡子耀, 陈春棉, 栾泓霖, 等. 虚拟现实认知训练辅助治疗儿童注意缺陷多动障碍疗效观察[J]. 中华全科医学, 2025, 23(7): 1162-1166.
- [61] 何苑敏, 汤路瀚, 魏福全. 虚拟现实技术治疗注意缺陷多动障碍患儿分数低频波动幅度的变化及临床意义[J]. 浙江医学, 2025, 47(16): 1745-1749, 1797.
- [62] 江姝. 体感游戏训练对注意缺陷多动障碍儿童课堂不专注行为的干预研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2024.
- [63] 贾雯旭, 张功. 体感游戏改善注意缺陷多动障碍儿童执行功能的研究进展[J]. 教育生物学杂志, 2022, 10(4): 328-337.
- [64] Kim, S., Lee, S. and Lee, S. (2026) Eye-tracking-based Digital Therapeutic for ADHD in Children: Development and Preliminary Evaluation of an Adaptive Learning Guide. *Healthcare*, **14**, Article 1486. <https://doi.org/10.3390/healthcare14111486>
- [65] Khanahmadi, S., Sourtiji, H., Khanahmadi, Z. and Sheikhtaheri, A. (2023) Effect of a Sensory Diet Smartphone Application on the Symptoms of Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): A Feasibility Study. *Helvion*, **9**, e19086. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19086>
- [66] 史若琳, 何凡. 注意缺陷多动障碍数字诊疗技术的研究进展[J]. 中华精神科杂志, 2025, 58(11): 855-861.
- [67] Corrigan, N., Păsărelu, C. and Voinescu, A. (2023) Immersive Virtual Reality for Improving Cognitive Deficits in Children with ADHD: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Virtual Reality*, **27**, 3545-3564. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00768-1>
- [68] Romero-Ayuso, D., Toledano-González, A., Rodríguez-Martínez, M.d.C., Arroyo-Castillo, P., Triviño-Juárez, J.M., González, P., *et al.* (2021) Effectiveness of Virtual Reality-Based Interventions for Children and Adolescents with ADHD: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Children*, **8**, Article 70. <https://doi.org/10.3390/children8020070>
- [69] Wu, G., He, Q., Li, D., Zhang, Z., Miao, J. and Shu, Y. (2024) Comparative Efficacy of Neurofeedback Interventions for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Children: A Network Meta-Analysis. *Brain and Behavior*, **14**, e70194. <https://doi.org/10.1002/brb3.70194>