

数字治疗在自闭症儿童中的应用

李娜^{1,2,3}, 彭莎莎^{1,2,3}, 李斯琪^{1,2,3}, 胡治国^{1,2,3*}

¹杭州师范大学心理科学研究院, 浙江 杭州

²杭州师范大学附属医院认知与脑疾病研究中心, 浙江 杭州

³浙江省认知障碍评估技术研究重点实验室, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年9月13日; 录用日期: 2023年11月8日; 发布日期: 2023年11月16日

摘要

随着计算机、互联网、虚拟现实、机器人等技术的发展, 数字治疗越来越多被运用于自闭症儿童的干预中, 显示出了良好的应用前景。本文对现有相关文献进行了系统梳理, 介绍了数字治疗在自闭症儿童的社交能力、情绪、注意力和记忆等方面的干预研究, 总结了自闭症数字治疗领域的发展现状, 并提出了未来研究的建议。

关键词

自闭症, 数字治疗, 干预, 有效性

Application of Digital Therapy in Children with Autism Spectrum Disorder

Na Li^{1,2,3}, Shasha Peng^{1,2,3}, Siqi Li^{1,2,3}, Zhiguo Hu^{1,2,3*}

¹Institute of Psychological Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

²Center for Cognition and Brain Disorders, Affiliated Hospital of Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

³Zhejiang Key Laboratory for Research in Assessment of Cognitive Impairments, Hangzhou Zhejiang

Received: Sep. 13th, 2023; accepted: Nov. 8th, 2023; published: Nov. 16th, 2023

Abstract

With the development of computer, Internet, virtual reality, robotics and other technologies, digital therapy has been increasingly used in the intervention of children with autism spectrum disorder as a promising new way. This article systematically reviewed the existent relevant literature, introduced intervention studies adopting digital therapy in the aspects of social ability, emo-

*通讯作者。

tion, attention and memory of autistic children, summarized the present status of research in digital therapy for autism, and provided some suggestions for future studies.

Keywords

Autism Spectrum Disorder, Digital Therapy, Intervention, Efficacy

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

自闭症谱系障碍(Autism Spectrum Disorder, ASD)是一种广泛性发育障碍,其主要表现为社会交往障碍(包括语言交流障碍)和重复刻板行为(Cooper, 2017)。儿童自闭症是儿童精神类疾病当中最为严重的一种。根据 WHO 的调查,ASD 患病率大约为 1%左右(Elsabbagh et al., 2012)。根据美国疾控中心 2023 年公布的最新数据,在美国每 36 名 8 岁儿童中就有 1 名患有自闭症谱系障碍,占比约 2.8% (Maenner et al., 2023)。ASD 由遗传和环境共同作用产生,但迄今为止,其发病机制尚不明确(Elsabbagh et al., 2012; Maenner et al., 2023)。

ASD 患者虽然数量很大,但目前还没有理想的治疗方案,也没有专门的有效的化学药物。目前,针对 ASD 儿童的治疗干预,主要是以提高他们的生活自理能力为目标,使他们能像正常儿童一样参与各种社会活动。我国对 ASD 儿童的治疗和干预仍处于发展阶段,很大程度上以学习国外干预方法为主。改善 ASD 症状的常见治疗方法包括药物治疗、心理和行为治疗、语言疗法、音乐疗法、物理疗法、补充和替代医学疗法等。根据相关调查,目前国内自闭症干预机构所使用的干预方法共有 57 种,其中 20 种可在美国孤独症国家标准项目(2015)里找到,包括 14 种“确立的方法”,3 种“正在出现的方法”和 3 种“未确立的方法”,使用频数比例达 50%以上的是“确立的方法”,分别是行为干预(67.9%)、语言训练(63.4%)、自然情景教学法(53.4%)和示范法(50.4%) (陈夏尧,程军,2020)。由于 ASD 患者中存在很大的异质性,各种治疗方法的疗效还没有一致的结果。一项系统综述表明,虽然许多患有 ASD 的儿童目前正在接受医疗干预治疗,但几乎没有证据支持大多数治疗的益处(Mcpheeters et al., 2011)。还有研究表明,药物可能在发育的不同阶段有不同的有效性和耐受性,比如选择性 5-羟色胺再摄取抑制剂(Selective Serotonin Reuptake Inhibitors, SSRI)类药物在儿童 ASD 患者中比成人 ASD 患者通常具有更高的副作用和更低的疗效(Accordino et al., 2016),这导致很多家长不愿意让 ASD 儿童使用 SSRI 类药物。此外,基于应用行为分析(Applied Behavior Analysis, ABA)的心理行为治疗和语言疗法,需要经过长期系统训练的专业人士来实施,需要大量的财力、人力和时间。另外,还有一些地区没有正规的医院或干预训练机构能够为 ASD 儿童提供专业的服务。这些都呼唤另外的替代性干预方案,以服务于 ASD 儿童的治疗和康复。

在上述背景下,ASD 儿童的数字治疗(Digital Therapeutics, DTx)应运而生。根据国际数字治疗联盟的定义,数字疗法是一种健康软件,旨在通过生成和提供对患者健康具有明显积极治疗作用的医疗干预,来治疗或缓解疾病、障碍、症状或损伤(<https://dtxalliance.org/understanding-dtx/what-is-a-dtx/>)。数字治疗是数字医疗的细分领域,它以一种具体的产品形态,通过信息、物理因子等,对患者直接施加影响,可以与药物、医疗器械或其他疗法配合使用,也可以单独使用。数字治疗产品的实质是基于医学原理和知识图谱的数字技术。通过数字化手段,数字治疗将现有的医学原理、医学指南或标准治疗方案,甚至新

的基于数字化靶点的治疗方案,转化成以应用软件为驱动的干预措施,可有效提高对患者疾病干预治疗、管理的依从性和可及性,是突破传统药物治疗的局限性的创新方法。其中,慢性疾病和精神类疾病的干预、治疗和管理,是数字治疗主要的应用领域(李宇欣等, 2022)。针对不同的适应症,数字治疗有不同的医学原理。根据学科分类,数字治疗可以分为心理学、神经科学、康复医学和药理学四大类,共有 14 种医学原理。在自闭症儿童的数字治疗方面,主要运用了心理学和神经科学的一些原理,如关于学习的原理(如强化学习理论、社会学习理论等)、关于记忆的原理(如记忆-遗忘规律、内隐记忆等)、关于情绪的原理(如情绪学习、情绪调节等)、关于注意的原理(如朝向反射理论);同时,也结合了一些心理治疗或干预的基本规律,包括认知行为疗法、生物反馈疗法、运动和音乐疗法等。

数字治疗采用不同的技术手段,比如计算机辅助治疗、智能手机应用程序、可穿戴技术辅助干预,以及机器人干预等(Hollis et al., 2017),来治疗或干预患者的身体、心理和行为。数字治疗相对便捷,趣味性强,可重复性好,灵活度高,可以有效克服时间和空间的限制,而且还具有低成本的优势,受到越来越多自闭症干预领域研究者的重视。自二十世纪七十年代萌芽以来,自闭症的数字治疗呈现加速发展的态势。1970~1980 年,每年自闭症数字治疗相关的出版物为 0~1 篇,1980 年代跃升为每年约 5~7 篇,从 1990 年代中后期起直到现在出版物呈持续直线上升趋势(Ploog et al., 2013)。许多研究表明,数字治疗可以改善 ASD 儿童的社交、情绪、注意以及记忆等方面的能力。但迄今为止,尚没有研究对此进行总结分析,本文将对上述方面的研究进行系统介绍,并对未来研究方向进行分析和展望。

2. 数字治疗对改善 ASD 儿童社交能力的作用

社交障碍是 ASD 儿童的主要缺陷,包括社交互动中的缺陷,在社交中使用非语言的缺陷,以及发展、理解和维持人际关系中技能的缺陷。很多研究证实,数字疗法对改善 ASD 儿童的社交技能有显著的效果。现有研究中的数字疗法,主要采用了应用程序、机器人和可穿戴技术,下面分别予以介绍。

基于计算机的应用程序被广泛运用在 ASD 儿童的社交能力提升上。如 Penev 等开发设计了一个移动应用程序“Guess What”,通过智能手机为 3 至 12 岁的 ASD 儿童提供基于游戏的治疗。干预中,照料者在前额佩戴一个智能手机,手机上显示一系列治疗性的提示之一(如一个惊讶的人脸),ASD 儿童必须识别并很好地模仿看到的提示,以便能让照料者猜出儿童在模仿什么。每一个游戏一次玩 90 秒,要求每天玩 3 次,每周 3 天,共 4 周。结果发现,经过干预后,被试在社会反应性量表和适应行为量表的评分方面,均表现出了显著的改善,表明该应用程序可以有效提升被试的社会反应能力(Penev et al., 2021)。Parsons 等的一项研究,开发了一个名为 TOBY 的应用程序,包括四个方面的训练:视觉运动、模仿、语言和社交技能(如共同注意)。研究招募了 59 名 2~6 岁的 ASD 儿童,进行了严格的随机对照实验,实验组除接受常规治疗之外每天还要用 iPad 练习 TOBY 应用程序至少 20 分钟,持续三个月,然后进行后测,并在 3 个月后进行追踪测量。对照组为进行常规干预,并在同样的时间点进行测试。研究结果表明,相比于对照组,实验组在社交技能和语言使用方面表现出了显著的改善(Parsons et al., 2019)。Hopkins 等开发了一款旨在提高 ASD 儿童社交技能的训练软件 FaceSay。为了验证 FaceSay 的有效性,研究者招募了 24 名高功能和 25 名低功能的自闭症儿童,两类儿童均随机纳入实验组和对照组。对实验组儿童使用 FaceSay 进行了每周 2 次、每次 10~25 分钟的训练,让他们练习眼睛的凝视、区分面部表情、识别人脸和情绪,FaceSay 中的小助理会给予儿童实时的互动反馈。在对照组中,仅让儿童使用绘图软件进行绘画。该训练一共持续 6 周,研究结果表明,FaceSay 不仅可以干预有效地提高了高功能自闭症儿童的人脸识别、情绪识别和社交互动能力,也能够有效提高低功能自闭症儿童的人脸识别和社交互动能力(Hopkins et al., 2011)。

除了应用程序,还有一些研究使用机器人来对 ASD 儿童的社交能力进行干预。如 Ali 等对 ASD 儿

童使用标准化的多机器人治疗,一共招募了8个ASD儿童,干预分为3个阶段:第一阶段是人与人之间互动,第二阶段是人与机器人之间的互动,第三阶段也是人与人之间的互动,在第三阶段进行评估。结果显示,经过每周一次、为期10周的干预下,ASD儿童的社交技能总体提高了86% (Ali et al., 2020)。另外一个研究,采用被试内的方法,让ASD儿童参与完成三个实验条件下的活动,包括与成年人互动、与恐龙机器人互动和玩触屏计算机游戏,并计算被试的话语数量作为评估依据。结果发现,ASD儿童与机器人和成年人之间的语言互动,比在电脑游戏中多,这表明机器人也可以像成年人一样促进ASD儿童的社会互动(Kim et al., 2013)。

此外,可穿戴技术也被用于ASD儿童社交技能的提高。如在Voss等进行的一个针对ASD儿童的大样本研究中,考察了可穿戴设备行为干预的有效性,他们使用了一款人工智能的干预眼镜 Superpower Glass(SG),由ASD儿童在家佩戴,可无线同步到Android智能手机应用。SG外摄像头可以捕捉社交伙伴的表情,然后传输到手机应用中去,该应用可以对社交伙伴的面部表情进行分类,然后反馈给ASD儿童。这个手机应用还可以进行游戏选择,以及视频记录以供ASD儿童的父母查看。该研究招募了71个ASD儿童,随机分成实验组和对照组,实验组使用SG和配套的应用程序进行了为期6周、每周4次的干预,对照组进行常规治疗。结果显示,实验组的ASD儿童在适应行为量表的社会化量表上与对照组相比有显著的改善,说明SG干预可以改善儿童的社会行为(Voss et al., 2019)。由于可穿戴设备(如眼镜)的便携性,可以不受时间空间的限制,未来不仅可以作为一种干预手段,还可以演变成为一种多功能的生活辅助手段,如教儿童识别他人情绪、协助儿童日常与他人交谈等。

现有研究表明,数字治疗能改善ASD儿童的社交能力。但相关的研究还不太多,特别是大样本的随机对照研究还比较少。此外,很少有研究进行长期的跟踪随访来证明上述数字干预的效果是否能长期保持。这些都是未来研究需要探索的方向。

3. 数字治疗对改善ASD儿童情绪的作用

情绪障碍是自闭症儿童的一个核心症状,其主要表现为情绪理解、情绪表达和情绪调节的异常。有研究表明,自闭症儿童在观察他人表情时,更多的是关注嘴部信息而不是整张脸或者眼神信息。自闭症儿童的认知加工偏好于处理局部信息而不是整体信息,不能根据前后关系来处理 and 加工信息,因此中央整合能力比较差,从而不能准确辨别他人的面部表情(Pelphrey et al., 2002)。很多自闭症儿童即使成年后也难以识别复杂的情绪,难以表达和调节自己的情绪,并在处理情绪面孔时显示出非典型的眼球运动(Lacava et al., 2007)。目前数字方法对ASD儿童情绪的干预训练,主要集中在情绪理解方面,旨在通过数字技术提高自闭症儿童面部表情的识别能力。这方面的数字治疗手段也比较丰富,包括游戏程序、Google眼镜、机器人、虚拟现实、增强现实等。

目前,已经有很多移动游戏平台用于ASD儿童情绪理解的干预。如Hopkins等开发的移动游戏程序FaceSay,就可以用来提高自闭症儿童的面孔和情绪识别能力(Hopkins et al., 2011)。在近期的一项研究中,Rosenblau等以神经生物学为基础,研发出了一款专门为高功能成人自闭症患者设计的基于计算机的社会认知训练方法(Social-Cognitive Training, SCOTT)。他们将神经生物学与数字治疗联系起来,利用个人对技术和电脑游戏的兴趣来训练社交认知特别是情绪技能。在SCOTT的三个模块中,参与者可以专注于提高面部情感识别、情感韵律识别和心理化能力。结果显示,使用SCOTT训练的实验组相对于非社交性电脑训练的对照组表现出了社会认知方面的显著改善,而这些改善与大脑功能性活动的降低和前额叶区域皮质厚度的增加相关。该研究也表明,使用神经影像学方法可以更好地描述和量化数字治疗的效果(Rosenblau et al., 2020)。

此外,基于眼动追踪技术的视频游戏,也被广泛应用于ASD儿童的情绪理解干预中。Sosnowsk等

结合了应用行为分析技术和眼动追踪技术(Gaze-Contingent Eye Tracking, GCET), 设计了一款视频游戏。该游戏结合了 GCET 和 ABA 的教学技术, 包括行为分解训练法、塑形和差异强化等。在游戏练习期间, 儿童被提示并接受强化, 以将他们的注意力集中在游戏角色的眼睛和嘴巴区域, 并参与情绪匹配任务。研究结果表明, 干预训练的效果非常显著, 儿童的情绪识别能力得到明显的提升, 并且这种效果仅用了大约六个小时的总游戏时间就达到了。该程序的实施不需要训练有素的专业人员的大量参与, 对自闭症儿童的数字干预带来了很大的希望, 表明数字治疗有望作为传统教育的一种替代方式, 通过更加简单有效的方法改善自闭症儿童的状况(Sosnowski et al., 2022)。

以上研究都是通过“软件”来干预, 还有研究通过“软硬结合”的方式进行数字干预。比如 Voss 等利用 Google 眼镜来改善自闭症儿童识别他人情绪的能力, 以最终达到改善社交的效果。干预通过谷歌眼镜结合智能手机应用程序来进行, Google 眼镜主要有两个目的: 一是鼓励 ASD 儿童的面部表情识别, 二是教 ASD 儿童正确识别儿童社交伙伴表现出来的情绪。Google 眼镜提供了 3 种参与游戏的模式: 1) 捕捉微笑: 在此过程中, 通过音频提示儿童在家庭成员的脸上找到一种情绪, 如通过讲笑话来引出快乐的情绪同时标记出情绪; 2) 猜测情绪: 在此过程中, 看护者要求儿童猜测他们正在表现的情绪, 并手动使用手机应用程序控制反应; 3) 自由游戏: 一种无预先组织的活动, 在此期间, 儿童会接收所有与他们互动的个体的情绪暗示, 要求儿童去判断个体表现出来的情绪。研究结果表明, 在为期六周的训练过程中, 儿童通过辅助设备检测面部表情和提供强化的社交刺激, 有效促进了面部表情和情绪的识别(Voss et al., 2019)。由于 Google 眼镜可以居家使用, 这让 ASD 儿童在家也能得到良好的训练。

现有的研究表明, 数字疗法能够有效提升 ASD 儿童的面部表情识别能力, 通过情绪识别的训练, 也可以推动 ASD 儿童社交能力的改善(Kim et al., 2013)。但是目前大多数研究主要集中在表情识别、情绪理解上, 几乎没有研究关注 ASD 儿童的情绪表达和情绪调节能力的训练。情绪表达和情绪调节与情绪识别密切相关, 在未来的数字干预研究, 需要关注在提高 ASD 儿童情绪识别能力的基础上, 如何提高 ASD 儿童的情绪表达能力和对自身情绪的调节与控制能力。

4. 数字治疗对改善 ASD 儿童注意力的作用

大部分 ASD 儿童存在注意力缺陷的问题, 其中共同注意(joint attention)障碍是 ASD 的核心缺陷之一, 对 ASD 儿童的神经心理发展有重要影响。目前关于 ASD 儿童注意力的研究, 主要集中在共同注意上, 数字治疗的相关研究涉及到计算机游戏平台、机器人、虚拟现实和增强现实等不同手段。

目前已经有很多基于计算机的游戏平台, 用于 ASD 儿童共同注意的干预中。比如, Bono 等开发了一个自动化的严肃移动游戏平台 GOLIAH, 包括 7 个模仿游戏和 4 个共同注意游戏。研究者使用该游戏对 10 名 ASD 儿童进行了 3 个月的干预训练, 结果发现该游戏可以提高 ASD 儿童的模仿和共同注意技能(Bono et al., 2016)。由于上述研究样本小且没有对照组, Jouen 等使用该游戏进行了更大样本更长时间的随机对照研究。实验组的 14 名 ASD 儿童在常规治疗的基础上进行 GOLIAH 游戏干预, 对照组的 10 名 ASD 儿童只接受常规治疗, 干预 6 个月后发现, 经过 GOLIAH 训练的 ASD 儿童在大多数共同注意游戏中增加了执行任务的时间, 在大多数模仿游戏中提高了模仿分数, 然而实验组和对照组的组间差异并不显著(Jouen et al., 2017)。除了严肃游戏之外, 商业娱乐游戏对于 ASD 儿童的干预也有一定效果, 如 Bartoli 等使用虚拟现实技术实现了一系列基于运动的无触摸游戏(如躲避球或凌空抽射), 对 5 名 ASD 儿童进行了为期两个半月的干预, 儿童进行每周 5 次、每次 45 分钟的游戏, 期间没有进行其他治疗。研究结果显示, 经过干预后 ASD 儿童的注意力水平有明显改善(Bartoli et al., 2013)。

除了基于计算机的游戏, ASD 儿童对机器人也表现出强烈的兴趣, 这也使得机器人辅助治疗成为 ASD 数字治疗的主要形式之一。如 Warren 等对 6 名 ASD 儿童进行了两周、共 4 次的机器人(NAO)干预,

在实验期间目标刺激随机呈现在左右两边的监视器上,机器人在指向相应的目标时会转身或回头,每个提示开始后,设置一个7秒的相应时间窗口,儿童在7秒内看向正确的目标则为完成了共同注意。结果发现,ASD的学龄前儿童更频繁地将目光指向类人形机器人,对机器人的共同注意提示的准确反应率很高,而且随着时间的推移ASD儿童对类人机器人的关注并不会减弱(Warren et al., 2015)。该研究结果凸显了机器人系统在训练ASD儿童定向注意能力方面的作用。2018年,Zheng等对之前的设备(NAO)进行了改进,提出了一个完全自主的机器人系统(NORRIS),并让14名ASD儿童跟随机器人完成共同注意任务,通过分析儿童跟随机器人提示完成共同注意任务的正确率以及所用的提示水平,来测量ASD儿童的共同注意水平。结果发现,经过4次的训练,ASD儿童的共同注意技能显著提高了,但是该研究并没有证明该效果能否迁移到与人类伙伴的互动中(Zheng et al., 2018)。Kajopoulos等的研究则有力证明,儿童能将在训练中获得技能转移到与人类的互动中。他们招募了7名ASD儿童与机器人一起进行了6次共同注意训练,儿童需要口头说出机器人正在注视的目标的颜色,然后按下相应的按钮。通过分析儿童口头报告的正确率、按键正确率,以及干预前后的早期社交沟通量表的得分,来评估响应共同注意和启动共同注意的能力。结果发现,经过训练,ASD儿童的响应共同注意得到了显著改善(Kajopoulos et al., 2015)。

除了与单个机器人互动,还有研究者开发了多个机器人的联合干预。Ali等提出了第一个基于自主多机器人的共同注意和模仿疗法,在干预中,儿童的左前方和右前方分别放一个机器人,在共同注意模块中,通过变化机器人的眼睛颜色和眨眼向儿童提供视觉线索,或者提供语音线索,同时采集ASD儿童互动时眼神接触和接触延时等数据。研究者对12名ASD儿童进行了为期6个月的干预,在干预前后分别采集脑电数据并得到儿童自闭症评定量表分数。结果表明,干预后每个儿童的共同注意和模仿技能都得到了显著提升,儿童自闭症评定量表的得分上也有所改善(Ali et al., 2019)。

此外,虚拟现实技术也被广泛应用于ASD儿童的注意力干预中。Mei等开发了一个基于虚拟现实技术的共同注意训练游戏,在该游戏中,可定制的虚拟人扮演虚拟教师的角色,用户必须与虚拟教师进行眼神交流和共同关注等,游戏才能继续进行。实验收集了用户在游戏时的眼睛注视数据和任务表现,结果发现,可定制虚拟人能够吸引高功能ASD青少年的注意力(Mei et al., 2018)。上述研究是在实验室进行的,为了提高生态效度,Ravindran等在特殊教育学校进行了一项试点研究,共有12名9~16岁的ASD青少年在5周内接受了14次基于虚拟现实技术的共同注意模块的训练,共同注意测量得分表明,参与者在互动总数、眼神接触次数和互动发起上都发生了积极的变化(Ravindran et al., 2019)。

现有研究表明,数字疗法对ASD儿童共同注意的改善有较好的效果,但是目前大多数研究都是小样本研究,而且缺乏对照组,干预时间也有限,而且评估疗效的工具也不统一。未来需要进行更多大样本的、更长时间的随机对照实验研究,以更好地评估数字治疗对于改善ASD儿童注意力的效果。

5. 数字治疗对改善ASD儿童记忆的作用

记忆障碍也普遍存在于ASD儿童中。有研究表明,ASD儿童不会用有效的编码功能来记住信息,也不会灵活运用视觉和听觉记忆间的转换,记忆功能会出现逐渐衰退,很难记住事物的复杂性过程;同时,他们还会表现出工作记忆的损害,这也会损害他们的视觉空间记忆和语言记忆功能(Williams et al., 2006)。还有研究表明,具有较好语言功能的ASD儿童,由于其大脑海马体和内侧颞叶区域的受损,导致他们外显记忆受损,从而导致他们难以陈述自己的社交经历,这也导致ASD患者的记忆内容与日常生活联系较少(Goh & Peterson, 2012)。

一些研究采用了数字治疗来改善ASD儿童的记忆功能。如De Vries等开展的一项随机对照实验,使用一种带有游戏元素的执行功能训练程序,对ASD儿童进行为期6周共25次的干预训练。结果表明,该游戏显著改善了ASD儿童的工作记忆、认知灵活性和注意力(De Vries et al., 2015)。Goswami等开发了

一个增强记忆的手机游戏，将游戏 APP 与跟踪 APP 相连接后，该应用程序会记录孩子的日常进展，并分析孩子的改善情况，并与一个单独的家长监控应用程序相连(Goswami et al., 2021)。该研究通过调查、访谈的结果，认为上述游戏是有效的，但没有进行严格的随机对照研究。Wagle 等开发了一个训练视觉空间工作记忆的手机游戏，对 ASD 儿童进行每天 30 分钟、为期一个月的干预，结果发现，ASD 儿童在游戏中工作记忆的表现得到了改善，而且在游戏中表现更好的儿童在工作记忆方面也表现出更多的改善(Wagle et al., 2021)。

目前，关于 ASD 儿童记忆方面的数字治疗研究还比较少。从现有研究结果来看，数字治疗在改善 ASD 儿童记忆方面有一定作用，但是其干预效果并不是很显著，还存在着实证研究缺乏、训练中的效果不能有效迁移到其他记忆中等问题。因此，未来还需要开发更有效的提升 ASD 儿童记忆力的数字产品，并进行严格的随机对照干预研究。

6. 总结和展望

在对现有相关文献分析的基础上，本文介绍了数字治疗对 ASD 儿童的社交、情绪、注意力和记忆方面的有效性。虽然越来越多的研究者意识到了数字治疗对 ASD 儿童的重要性，相关研究也在逐渐增多，但总体来看，关于 ASD 儿童数字治疗的研究仍处于初级阶段，国内的相关研究更是寥寥无几。数字治疗作为一个新生事物，相关体系还很不完善，经过有效性验证的、可供实用的数字治疗产品仍然非常有限。

未来相关的研究，可以在以下几个方面进行深入探讨：

1) 进行更多严格的大样本随机对照研究。由于数字治疗产品从研发到投入使用的时间较长，需要较多的资金投入，现有的研究很多都处在产品研发的阶段，因此只进行了小样本的短期试点研究。有些研究虽然发现了数字治疗的初步效果，但是这种改善作用能否持续、能否迁移到现实生活场景中，并没有得到有效的验证。未来需要开展更多的严格的大样本随机对照研究，探究不同时长、不同频率的治疗方法的干预效果，并进行长期的随访测量，以客观评估 ASD 儿童数字治疗的疗效及其可持续性。

2) 为 ASD 儿童开发设计个性化的数字治疗手段。ASD 儿童往往伴有一些其他障碍，如注意力缺陷多动障碍、情感和行为障碍、精神发育迟滞以及癫痫等，个体之间具有较强的异质性。因此，未来研究需要进一步关注个性化定制的数字干预手段，以对特定的 ASD 儿童起到更好的干预效果。

3) 采用神经影像学的方法来评估数字治疗的效果。目前，大部分研究均采用量表、观察等行为学指标来评估数字治疗的效果，很少有研究采用神经影像学的技术(如功能性磁共振成像)来评估 ASD 儿童数字治疗前后的变化。神经影像学技术不仅能提供更加客观准确的数据，而且可以揭示干预起效的脑机制，对于论证数字治疗的有效性具有显著的优越性。未来研究需要考虑采用各种神经影像学的技术手段，让数字治疗得到更好的认可。

致 谢

本研究得到了浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划资助(编号：2023C03002)。

参考文献

- 陈夏尧, 程军(2020). 我国孤独症谱系障碍儿童康复定点机构干预方法使用现状的调查. *中国康复医学杂志*, 35(5), 590-594.
- 李宇欣, 高向阳, 李斯琦, 等(2022). 数字疗法的应用现状及未来展望. *中国数字医学*, 17(7), 39-44+84.
- Accordino, R. E., Kidd, C., Polite, L. C., Henry, C. A., & McDougle, C. J. (2016). Psychopharmacological Interventions in Autism Spectrum Disorder. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, 17, 937-952.
<https://doi.org/10.1517/14656566.2016.1154536>
- Ali, S., Mehmood, F., Dancey, D., Ayaz, Y., Khan, M. J., Naseer, N., Amadeu, R. D., Sadia, H., & Nawaz, R. (2019). An

- Adaptive Multi-Robot Therapy for Improving Joint Attention and Imitation of ASD Children. *IEEE Access*, 7, 81808-81825. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2923678>
- Ali, S., Mehmood, F., Khan, M. J., Ayaz, Y., Asgher, U., Sadia, H., Edifor, E. E., & Nawaz, R. (2020). A Preliminary Study on Effectiveness of a Standardized Multi-Robot Therapy for Improvement in Collaborative Multi-Human Interaction of Children with ASD. *IEEE Access*, 8, 109466-109474. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3001365>
- Bartoli, L., Corradi, C., Garzotto, F., & Valoriani, M. (2013). Exploring Motion-Based Touchless Games for Autistic Children's Learning. In *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 102-111). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2485760.2485774>
- Bono, V., Narzisi, A., Jouen, A. L., Tilmont, E., Hommel, S., Jamal, W., Xavier, J., Billeci, L., Maharatna, K., Wald, M., Chetouani, M., Cohen, D., Muratori, F., & MICHELANGELO Study Group (2016). GOLIAH: A Gaming Platform for Home-Based Intervention in Autism—Principles and Design. *Frontiers in Psychiatry*, 7, Article 70. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00070>
- Cooper, R. (2017). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM). *Knowledge Organization*, 44, 668-676. <https://doi.org/10.5771/0943-7444-2017-8-668>
- De Vries, M., Prins, P. J., Schmand, B. A., & Geurts, H. M. (2015). Working Memory and Cognitive Flexibility-Training for Children with an Autism Spectrum Disorder: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 56, 566-576. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12324>
- Elsabbagh, M., Divan, G., Koh, Y. J., Kim, Y. S., Kauchali, S., Marcín, C., Montiel-Nava, C., Patel, V., Paula, C. S., Wang, C., Yasamy, M. T., & Fombonne, E. (2012). Global Prevalence of Autism and Other Pervasive Developmental Disorders. *Autism Research*, 5, 160-179. <https://doi.org/10.1002/aur.239>
- Goh, S., & Peterson, B. S. (2012). Imaging Evidence for Disturbances in Multiple Learning and Memory Systems in Persons with Autism Spectrum Disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 54, 208-213. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.04153.x>
- Goswami, T. D., Arora, T., & Ranade, P. (2021). Enhancing Memory Skills of Autism Spectrum Disorder Children Using Gamification. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33, 125-132. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i34B31854>
- Hollis, C., Falconer, C. J., Martin, J. L., Whittington, C., Stockton, S., Glazebrook, C., & Davies, E. B. (2017). Annual Research Review: Digital Health Interventions for Children and Young People with Mental Health Problems—A Systematic and Meta-Review. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 58, 474-503. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12663>
- Hopkins, I. M., Gower, M. W., Perez, T. A., Smith, D. S., Amthor, F. R., Wimsatt, F. C., & Biasini, F. J. (2011). Avatar Assistant: Improving Social Skills in Students with an ASD through a Computer-Based Intervention. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 41, 1543-1555. <https://doi.org/10.1007/s10803-011-1179-z>
- Jouen, A. L., Narzisi, A., Xavier, J., Tilmont, E., Bodeau, N., Bono, V., Ketem-Premel, N., Anzalone, S., Maharatna, K., Chetouani, M., Muratori, F., Cohen, D., & MICHELANGELO Study Group (2017). GOLIAH (Gaming Open Library for Intervention in Autism at Home): A 6-Month Single Blind Matched Controlled Exploratory Study. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 11, Article No. 17. <https://doi.org/10.1186/s13034-017-0154-7>
- Kajopoulos, J., Wong, A. H. Y., Yuen, A. W. C. et al. (2015). Robot-Assisted Training of Joint Attention Skills in Children Diagnosed with Autism. In A. Tapus, E. André, J. C. Martin, F. Ferland, & M. Ammi (Eds.), *Social Robotics* (pp. 296-305). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25554-5_30
- Kim, E. S., Berkovits, L. D., Bernier, E. P., Leyzberg, D., Shic, F., Paul, R., & Scassellati, B. (2013). Social Robots as Embedded Reinforcers of Social Behavior in Children with Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43, 1038-1049. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1645-2>
- Lacava, P. G., Golan, O., Baron-Cohen, S., & Smith Myles, B. (2007). Using Assistive Technology to Teach Emotion Recognition to Students with Asperger Syndrome. *Remedial and Special Education*, 28, 174-181. <https://doi.org/10.1177/07419325070280030601>
- Maenner, M. J., Warren, Z., Williams, A. R., Amoakohene, E., Bakian, A. V., Bilder, D. A., Durkin, M. S., Fitzgerald, R. T., Fumier, S. M., Hughes, M. M., Ladd-Acosta, C. M., McArthur, D., Pas, E. T., Salinas, A., Vehorn, A. C., Williams, S., Esler, A. N., Grzybowski, A., Hall-Lande, J., Nguyen, R. H., Pierce, K. J., Zahorodny, W., Hudson, A., Hallas, L., Mancilla, K. C., Patrick, M. E., Shenouda, J., Sidwell, K., Dirienzo, M., Gutierrez, J., Spivey, M. H., Lopez, M. L., Pettygrove, S., Schwenk, Y. D., Washington, A., & Shaw, K. A. (2023). Prevalence and Characteristics of Autism Spectrum Disorder Among Children Aged 8 Years—Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 Sites, United States, 2020. *MMWR Surveillance Summaries*, 72, 1-14. <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss7202a1>
- McPheeters, M. L., Warren, Z., Sathe, N., Bruzek, J. L., Krishnaswami, S., Jerome, R. N., & Veenstra-Vanderweele, J. (2011). A Systematic Review of Medical Treatments for Children with Autism Spectrum Disorders. *Pediatrics*, 127, e1312-e1321. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-0427>

- Mei, C., Zahed, B. T., Mason, L. L., & Quarles, J. (2018). Towards Joint Attention Training for Children with ASD—A VR Game Approach and Eye Gaze Exploration. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 289-296). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446242>
- Parsons, D., Cordier, R., Lee, H., Falkmer, T., & Vaz, S. (2019). A Randomised Controlled Trial of an Information Communication Technology Delivered Intervention for Children with Autism Spectrum Disorder Living in Regional Australia. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *49*, 569-581. <https://doi.org/10.1007/s10803-018-3734-3>
- Pelphrey, K. A., Sasson, N. J., Reznick, J. S., Paul, G., Goldman, B. D., & Piven, J. (2002). Visual Scanning of Faces in Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *32*, 249-261. <https://doi.org/10.1023/A:1016374617369>
- Penev, Y., Dunlap, K., Husic, A., Hou, C., Washington, P., Leblanc, E., Kline, A., Kent, J., Ng-Thow-Hing, A., Liu, B., Harjadi, C., Tsou, M., Desai, M., & Wall, D. P. (2021). A Mobile Game Platform for Improving Social Communication in Children with Autism: A Feasibility Study. *Applied Clinical Informatics*, *12*, 1030-1040. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1736626>
- Ploog, B. O., Scharf, A., Nelson, D., & Brooks, P. J. (2013). Use of Computer-Assisted Technologies (CAT) to Enhance Social, Communicative, and Language Development in Children with Autism Spectrum Disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*, 301-322. <https://doi.org/10.1007/s10803-012-1571-3>
- Ravindran, V., Osgood, M., Sazawal, V., Solorzano, R., & Turnacioglu, S. (2019). Virtual Reality Support for Joint Attention Using the Floreo Joint Attention Module: Usability and Feasibility Pilot Study. *JMIR Pediatrics and Parenting*, *2*, e14429. <https://doi.org/10.2196/14429>
- Rosenblau, G., O'Connell, G., Heekeren, H. R., & Dziobek, I. (2020). Neurobiological Mechanisms of Social Cognition Treatment in High-Functioning Adults with Autism Spectrum Disorder. *Psychological Medicine*, *50*, 2374-2384. <https://doi.org/10.1017/S0033291719002472>
- Sosnowski, D. W., Stough, C. O., Weiss, M. J., Cessna, T., Casale, A., Foran, A., Erwinski, M., Wilson, J., Farber, S. A., & Farber, M. A. (2022). Brief Report: A Novel Digital Therapeutic that Combines Applied Behavior Analysis with Gaze-Contingent Eye Tracking to Improve Emotion Recognition in Children with Autism Spectrum Disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *52*, 2357-2366. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05101-w>
- Voss, C., Schwartz, J., Daniels, J., Kline, A., Haber, N., Washington, P., Tariq, Q., Robinson, T. N., Desai, M., Phillips, J. M., Feinstein, C., Winograd, T., & Wall, D. P. (2019). Effect of Wearable Digital Intervention for Improving Socialization in Children with Autism Spectrum Disorder: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Pediatrics*, *173*, 446-454. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.0285>
- Wagle, S., Ghosh, A., Karthic, P., Ghosh, A., Pervaiz, T., Kapoor, R., Patil, K., & Gupta, N. (2021). Development and Testing of a Game-Based Digital Intervention for Working Memory Training in Autism Spectrum Disorder. *Scientific Reports*, *11*, Article No. 13800. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93258-w>
- Warren, Z. E., Zheng, Z., Swanson, A. R., Bekele, E., Zhang, L., Crittendon, J. A., Weitlauf, A. F., & Sarkar, N. (2015). Can Robotic Interaction Improve Joint Attention Skills? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *45*, 3726-3734. <https://doi.org/10.1007/s10803-013-1918-4>
- Williams, D. L., Goldstein, G., & Minshew, N. J. (2006). The Profile of Memory Function in Children with Autism. *Neuropsychology*, *20*, 21-29. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.20.1.21>
- Zheng, Z., Zhao, H., Swanson, A. R., Weitlauf, A. S., Warren, Z. E., & Sarkar, N. (2018). Design, Development, and Evaluation of a Noninvasive Autonomous Robot-Mediated Joint Attention Intervention System for Young Children with ASD. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, *48*, 125-135. <https://doi.org/10.1109/THMS.2017.2776865>