behavioral sciences

MDPI

文章

患有自闭症谱系障碍的成年人的社交技能虚拟现实训练：对可接受性、可用性、用户体验、社交技能和执行功能的考察。

Panagiotis Kourtesis [1,2]†*, Evangelia-Chrysanthi Kouklari [3,4]†, Petros Roussos [1], Vasileios Mantas[4], Katerina Pa- panikolaou[3] , Christos Skaloumpakas[5,6], 和 Artemios Pehlivanidis[4]

[1] 雅典国立卡波迪斯特里亚大学心理学系，希腊雅典[2] 爱丁堡大学心理学系，英国爱丁堡[3] 儿童精神病学系，Aghia Sophia儿童医院，医学院，雅典国立卡波迪斯特里亚大学，希腊雅典[4] 1雅典国立卡波迪斯特里亚大学医学院Eginition医院精神病学第一系，希腊雅典[5] P. & A.Kyriakou儿童医院儿童精神病学系[6] Habilis研发团队，希腊雅典† 作者贡献相同，因此共享第一作者身份* 通信作者：pkourtesis@psych.uoa.gr

摘要： 自闭症谱系障碍（ASD）患者社交技能较差，这与其日常生活中的独立性降低有关。目前旨在提升自闭症谱系障碍患者社交技能的干预措施，未能呈现现实生活中社交环境与情境的复杂性。虚拟现实（VR）或可帮助人们在贴近现实生活的社交环境与情境中进行社交技能训练；然而，仍需进一步研究，以阐明虚拟现实系统在自闭症谱系障碍中的可接受性、可用性和用户体验等方面。25名自闭症谱系障碍参与者接受了神经心理学评估，并参加了三次虚拟现实社交技能训练；训练包含5种社交情境，每种情境设有三个难度等级。参与者报告称，该训练具有较高的可接受性、系统可用性和用户体验。社交情境中的表现、自我报告与执行功能之间存在显著相关性。工作记忆和计划能力分别是自闭症谱系障碍患者功能水平和虚拟现实系统感知可用性的显著预测变量。不过，社交情境中的表现是可用性、可接受性和功能水平的最佳预测变量。计划能力能够显著预测社交情境中的表现，这表明计划能力可能与社交技能有关。对自闭症谱系障碍患者开展沉浸式虚拟现实社交技能训练似乎是一种适宜的服务，但应优先采用能够适应个体需求的无错误方法。

引文： 由编辑部在制作过程中补充。

关键词： 虚拟现实，训练，自闭症，社交技能，，执行功能，可接受性，可用性，用户体验，提示。

学术编辑：Firstname Last-name

收稿日期：日期
修订日期：日期
接受日期：日期
发布日期：日期

版权： © 2023年 作者所有。本文已提交，拟依据知识共享署名（CC BY）许可协议的条款和条件开放获取（h t t ps://creativeco mmons.org/license s/by/4.0/）。

1. 引言

自闭症谱系障碍（ASD）是一种终身性的复杂神经发育障碍，会严重损害个体的言语和非言语沟通、社会互动及行为（即表现出兴趣受限、重复且异常的感觉运动行为）（《精神障碍诊断与统计手册》[DSM]第五版；[1]）。随着时间推移，自闭症谱系障碍的患病率估计值不断上升；近期一项系统综述[2] 报告称，其全球患病率（不同地区内及地区间有所差异）的中位数为每万人100例。自闭症谱系障碍存在显著的性别差异，男性受影响的可能性高于女性（比例为3:1）[3]。自闭症谱系障碍病因学被认为是多因素的，遗传因素和非遗传因素（例如，产前/

围产期）因素可能对该障碍的表现起关键作用（综述见[4] ）。自首次描述以来，自闭症谱系障碍（ASD）如今被视为一个从非常轻微到严重的连续谱[5] ，因为症状会因每个人的功能水平不同而呈现不同表现（1级——需要支持；2级——需要大量支持；3级——需要非常大量支持）。尽管如此，一些（但并非所有）自闭症谱系障碍人士终其一生都需要某种形式的支持[5]。即使是高功能自闭症谱系障碍人士，与谱系轻度端和较低端的其他人士相似，在整个生命历程中（直至成年）也存在社交技能缺陷。由于童年期和青春期缺乏生态化训练和干预项目，自闭症谱系障碍成年人士可能在社交及日常生活功能方面遇到问题[6]。

1.1. 自闭症谱系障碍中的社交技能与执行功能

研究发现，自闭症谱系障碍成年人的社交技能存在缺陷，例如注视方式异常／目光接触较少、对话参与度较低、情感表达适当、言语流畅性降低（例如，[8], [9]）、对社会线索理解不佳，以及难以发起和维持社交对话／沟通[10]，因此会经历社交孤立、孤独感和社交焦虑（例如，[7]）。高功能自闭症谱系障碍患者的社交技能缺陷，主要归因于执行功能（EF）（例如，[11]）或认知加工速度（例如，[12]）等认知成分受损。事实上，执行功能受损是自闭症谱系障碍的另一项显著特征[13] ，指的是控制行为、思想和情绪的高级目标导向认知过程。执行功能这一概念是一个总称，涵盖抑制、工作记忆和计划等能力（并非详尽无遗；关于执行功能的更详细讨论，见[14] 和[15] ）。近期的两项荟萃分析[16], [17] 表明，自闭症谱系障碍存在广泛的执行功能损伤，因为在整个生命周期中，多个执行功能方面（例如抑制、工作记忆、认知灵活性和计划）均持续表现出缺陷。

为实施有效的干预，过去十年的研究需要确定哪些执行功能（EF）方面促成了自闭症谱系障碍（ASD）患者社交技能的表现（[11], [18] 因为有研究认为，社会互动需要高阶认知调节[19]）。有研究提出，EF支持个体处理和操纵来自自身及他人视角的信息，从而促进社会互动与沟通技能[20]。在ASD成人群体中，这类关联尚未得到充分研究。来自童年期和青春期的有限证据表明，执行功能表现测量（例如听觉注意、抑制—转换）与ASD患者的社交缺陷相关（例如，[21], [22]），而基于评定的执行功能，如启动、认知灵活性和工作记忆，则被发现与ASD患者的适应性社交技能相关[23], [24]。近期一项研究[18] 还证明，基于评定的执行功能（自我监控）与特定社交技能（社会推理和社会知识）之间存在显著关联。需要指出的是，尽管上述研究均得出了相关发现，但都没有采用社会功能的现场测量，也没有在自然情境中进行评估。从理论上看，社交技能最终还被认为取决于社会认知的某些方面，例如心理状态／情绪识别[25] ；但由于这些方面与ASD中的社交损害并不总是存在一致关联[26], ，社会认知能力在多大程度上与ASD患者的社交困难相关，多年来一直存在争议。鉴于社会认知与社交技能、EF与社交技能，以及EF与社会认知之间可能存在这些关联（例如，[27]–[29]），有研究提出，EF可能直接或间接地促进社交技能[30]。社会认知的某些方面可能会部分中介EF与社交技能之间的关联；正如有研究所论证的那样，ASD中可能不存在单一的认知机制能够解释各种社交困难[31], ，因为可能有多个因素促成社交技能问题（例如情绪调节不良），而这些因素也可能解释ASD中的社会和行为问题（例如，[32]）。

1.2. 自闭症谱系障碍的评估、培训与干预

评估自闭症谱系障碍相关损伤，对于在实施干预时识别潜在困难和弱点至关重要。例如，广泛使用的测量工具包括

社会功能测量工具包括社会反应量表（用于测量总体社交能力；[33], [34]）、眼神读心测试（用于测量心理状态／情绪识别；[35]）以及自闭症诊断观察量表（用于测量社会互动、沟通和游戏；[36], [37]）。考虑到上述认知和社交障碍对自闭症谱系障碍个体日常生活的巨大影响，需要采取合适的干预和训练项目 [38]。针对认知缺陷，对患有自闭症谱系障碍的成年人进行认知训练练习，通常是通过反复练习执行功能任务来提升表现（例如，[39], [40]）。认知训练练习涵盖多种干预方法，例如纸笔任务、可下载工具和逻辑游戏。鉴于执行功能对社会功能的多个方面均有贡献，针对特定执行功能方面进行训练，被认为能够提高自闭症谱系障碍干预训练的有效性 [41]。然而，值得注意的是，自闭症谱系障碍的认知训练研究近年来才开始开展，因此，其结果有限且不一，以及缺乏生态效度等问题，仍在持续讨论中（例如，[42]–[44]）。

在社交技能方面，人们采用了多种不同策略，通过训练和干预项目提升自闭症谱系障碍成年人的社会功能（通常指社会互动和沟通）。例如，在讲授课程中使用社交故事和社交脚本、行为示范和角色扮演示范、视频示范和自我示范（例如，[45]），以提升会话技能、发展友谊、恰当运用幽默、约会，以及应对令人尴尬的反馈和同伴压力（例如，[46]），这些策略已应用于自闭症谱系障碍领域。然而，人们认为，大多数针对自闭症谱系障碍的心理社会干预和训练项目成效有限[47] ，这是因为其生态效度不足，无法将干预结果推广到日常生活中[48], [49]。上述方法的局限性可能源于自闭症谱系障碍文献倾向于将社会（和／或认知）缺陷视为彼此孤立的个体特征，而不评估这些缺陷在现实情境中的表现；在现实情境中，结果也会受到关系动态的影响[41], [50]。因此，对于自闭症谱系障碍人士而言，采用更自然化设置和角色扮演的计算技术，是一种非常有效的训练和干预媒介[51]。

1.3. 生态效度 效度、虚拟现实评估与干预 预

生态效度指神经心理学工具的逼真度（即与日常生活的相似程度）和真实性（即观察到的表现与现实生活中的表现之间的关联），这使得结果随后能够推广至日常生活 [52]。与采用静态、简单的测试和训练环境及刺激的纸笔或计算机化方法相比，沉浸式虚拟现实（VR）有助于提升生态效度和愉悦感 [53]。因此，沉浸式虚拟现实神经心理学工具或有助于理解日常功能（例如，[54], [55]），并改善日常身体和认知功能（例如，[56]–[58]）。在针对自闭症谱系障碍（ASD）的虚拟现实干预中，沉浸式虚拟现实技术有助于创建模拟环境，以帮助自闭症谱系障碍人士提升社交技能、沟通能力和行为表现 [59]–[62]。这些干预旨在为自闭症谱系障碍人士提供一个安全、可控的环境，让他们练习并发展技能，同时减轻现实世界互动所伴随的焦虑和压力 [60]。虚拟现实干预可包括角色扮演社交情境、虚拟社交技能训练和虚拟暴露疗法等活动。然而，为研究和临床目的有效实施沉浸式虚拟现实，需要具备技术能力 [63]。对虚拟现实训练进行不恰当的概念化可能造成不良后果，损害其原本有益的成效 [62]。

尽管如此，已有多种虚拟现实应用被有效用于评估和干预。虚拟现实日常评估实验室可评估日常记忆（前瞻性记忆和情景记忆）、注意（视空间注意和听觉注意）以及执行功能

（计划和多任务处理），并被发现是一种有效且令人愉悦得多的测试体验[53]，，可反映成年人的日常功能[54]，[55]。ClinicaVR: Classroom-CPT 是一种虚拟现实课堂，用于考察选择性注意、持续性注意和抑制能力，并已在儿童和青少年中得到验证[64]。关于针对自闭症谱系障碍的干预，初步证据表明，这类干预有望应用于临床和教育环境[59]，[65]。此外，临床医生已评估在临床和教育场景中运用虚拟现实社交故事，训练自闭症谱系障碍儿童社交技能的可行性[66]。初步证据表明，VR软件可能有助于提升自闭症谱系障碍儿童的对话能力[61]，、问题解决能力和沟通技能[67]。完成虚拟现实训练方案后，自闭症谱系障碍儿童在情绪表达与调节以及社会情绪互惠方面均有显著改善[68]。另外两项研究[69]，[70] 也报告称，自闭症谱系障碍儿童参加基于虚拟现实的训练课程后，社交技能有了显著提升。然而，重要的是要指出，自闭症谱系障碍领域的虚拟现实干预仍被视为一个新兴领域，仍需开展更多研究，以全面了解其疗效、可用性、所提供的用户体验，以及自闭症谱系障碍人士对其的可接受性[59]，[60]，[62]。此外，虚拟现实社交场景中的表现与认知功能之间的关系尚未得到研究。最后，尽管有多种虚拟现实应用用于自闭症谱系障碍儿童和／或青少年，但上述虚拟现实应用均非为自闭症谱系障碍成年人设计或实施。

1.4. VRESS

虚拟现实社交技能提升（VRESS）的开发遵循了心理学领域研究和临床应用虚拟现实软件的开发指南；这些指南已被证明能够开发出符合美国临床神经心理学会（AACN）和美国国家神经心理学会（NAN）标准的虚拟现实软件 [71]，[72]。VRESS 纳入了体现成人活动且常见于日常生活的社交情境，例如在健身房续订订阅费、挑选电影并在电影院购买电影票、浏览手机店提供的选项并购买智能手机、参加研讨课并与教练和同学互动，以及参加求职面试并回答面试官的问题。这些社交情境的设计遵循 Gray和Garand 的指南 [73]，旨在为自闭症谱系障碍（ASD）人士（即学习者）提供社交故事，通过视觉呈现和描述某种情境或活动，为他们做好准备并给予指导，让他们了解可能会遇到的情况及其背后的原因。因此，VRESS 的社交情境以描述性为主，而非指令性。社交故事旨在帮助自闭症谱系障碍人士理解并运用人际沟通的复杂细节，从而以更恰当、更有效的方式进行互动。社交故事方法让自闭症谱系障碍人士有机会识别情境、讨论自己的动机、理解促进因素或障碍，并提升社交技能 [73]，[74]。

1.5. 研究目标

为清晰起见，我们对与研究目标相关的术语作如下说明：

- 可用性：系统为用户提供条件，使其能够安全、有效且高效地完成任务，同时享受使用经验的能力。
- 用户体验：用户与产品、系统或服务互动并从中获得体验的方式。
- 可接受性：作为用于特定目的的软件，其质量令人满意，且能够获得认可或批准。

因此，本研究旨在：

1）评估面向自闭症谱系障碍成年人的社交技能沉浸式虚拟现实训练软件（即 VRESS）的可用性和用户体验。此外，本研究还致力于：2）考察将社交技能虚拟现实训练软件作为一项社交服务的可接受性（即从服务使用者的角度来看），临床医生、教育工作者和社会工作者可能会向自闭症谱系障碍成年人开具或提供这项服务，以训练并提升其日常社交技能。3）探究认知功能（即社会认知和执行功能的相关方面）、自闭症谱系障碍个体的独立性／功能水平、其在虚拟现实社交场景中的表现，以及可接受性、可用性和用户体验评分之间的关系。

2. 材料与方法

2.1. VRESS 情境与界面

VRESS 软件运行于 SteamVR 平台，并兼容所有可在 SteamVR 平台上运行的虚拟现实头戴式设备（例如 HTC Vive 系列、HTC Vive Pro 系列、Oculus Rift 系列和 Varjo VR 系列；详见 此处，完整列表）。VRESS 包含五种社会 情境：1）在健身房；2）在手机店购买智能手机；3）去电影院看电影；4）参加研讨课；5）参加求职面试。每种情境都有三个不同的难度等级：1）简单；2）中等；3）困难。因此，五种情境各有三个不同版本（即每个难度等级一个版本），VRESS 中总共有十五种不同的情境。难度级别由情境的复杂程度决定，具体取决于用户需要完成的社交任务数量，以及需要与之互动的三维角色数量（例如，只购买一张电影票，或与朋友讨论该看哪部电影，然后为所有人购买电影票）。此外，鉴于视觉敏感性（例如对强光敏感）[75] 以及广场恐惧症和/或社交恐惧症[76] 症状在自闭症谱系障碍人群中十分普遍，因此还可以通过设定灯光强度以及虚拟环境中三维非玩家角色（NPC；即用户不会与之互动的三维角色）的人群密度，进一步调整难度。VRESS 为操作人员（例如临床医生、研究人员、社会工作者或教育工作者）的笔记本电脑/个人电脑提供了专用的用户界面（UI），沉浸式用户看不到该界面。因此，除了渲染用户所沉浸其中的虚拟环境外，VRESS 还为操作人员提供用户界面，使其能够控制虚拟现实体验。



图1. 用于选择社会场景（左侧）并向用户说明要求（右侧）的中央用户界面。

用户界面分为两种。第一种是中央用户界面（见图1），在 VRESS 应用程序启动时显示，为操作人员提供可选情境及其难度等级，以及每个情境等级的说明，以便向用户/受训者（即自闭症谱系障碍人士）介绍社会情境和他们需要完成的社交任务。用户/受训者完成一个社会场景后，也会显示此中央用户界面，因此操作人员需要选择并开始下一个用户/受训者要完成的社会场景。当用户/受训者沉浸于某个情境时，操作人员的屏幕上会显示另一个用户界面（见图2）。此界面允许操作人员控制用户/受训者应与哪个三维角色互动（请注意，每种情境中有 1 至 4 个可互动的三维角色，其余角色只是旁观者）。此外，操作人员还可以从可用回应中选择一种，以控制互动中的三维角色如何回应。操作人员还可以控制三维角色的面部表情，以呈现不同的情绪状态（例如中性、愤怒、热情、悲伤、开心、困惑、失望或惊讶），并设定三维角色的注视方向（例如看着受训者、直视前方或向下看）。如上所述，操作人员还可以使用此界面控制灯光强度以及虚拟环境中的 NPC 人群密度（即虚拟环境中旁观者的数量）。最后，鉴于社交焦虑与心率升高 [77] 以及自闭症谱系障碍中常见的非典型目光接触 [78] 有关，此界面允许操作人员监测用户/受训者的注视情况（即受训者正在看哪里，例如三维角色的躯干，或其眼睛、嘴巴和鼻子）以及心率。

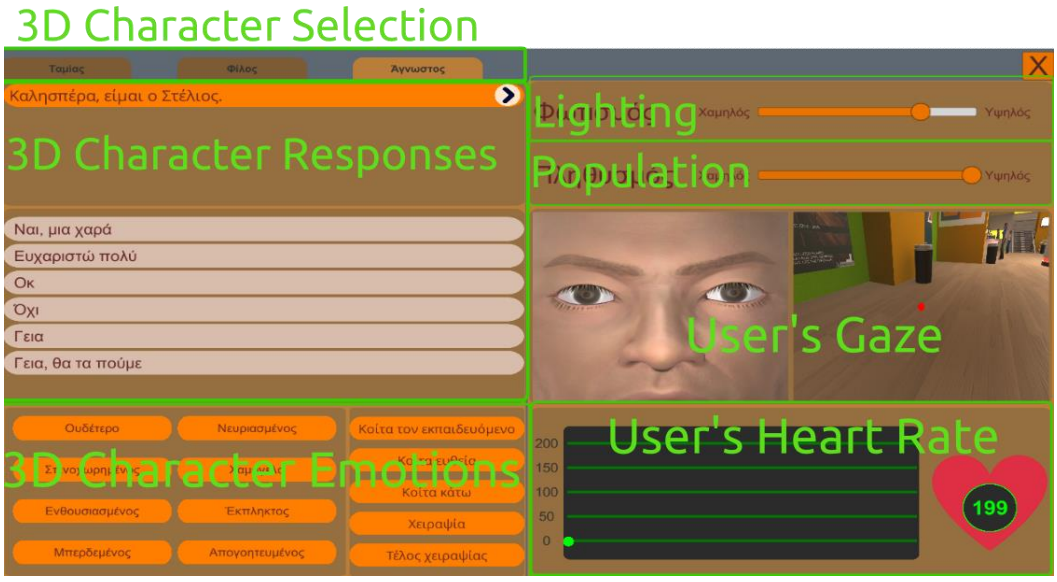

图 2。场景中的用户界面：选择交互三维角色（左上），控制交互三维角色的反应（左中）和情绪（左下），调节虚拟环境中的照明强度和 NPC 人群密度（右上），以及观察用户的视线（右中）和心率（右下）。

2.1.1. 健身房

在此情境中，受训者身处健身房（见图3）。在简单模式下，受训者必须询问健身房教练如何操作跑步机。在中等难度下，受训者必须先询问健身房里的另一位人士（即共同锻炼者），然后再询问健身房教练如何操作跑步机。最后，在困难难度下，除了四处打听如何操作跑步机外，受训者还必须续订健身房订阅费，并就上涨的费用进行讨价还价。



图3。健身房的教练（上）、主区域（中）和接待台（下）。

2.1.2. 手机店

在手机店（见图4），受训者必须购买一部价格不超过200欧元的智能手机。在简单难度下，受试者只需浏览客服人员提供的可选商品。在中等难度下，虽然受训者被要求购买某品牌的指定型号，但也必须愿意考虑一款技术规格更好、价格更低的智能手机特别优惠。在困难难度下，受训者必须浏览所有可选商品，并根据自己在网上找到的更低价格讨价还价。



图4。 商店的客户服务台（上）、主区域（中）和收银台（下）

2.1.3. 电影院

在电影院（见图5），受训者必须选择一部电影并购买该电影的电影票。在简单难度下，受训者心中已经有一部特定的电影，但抵达电影院时已经迟到，因此需要浏览可选方案（例如下一场放映场次或另一部电影），并购买电影票。在中等难度下，受训者与朋友有约会，但抵达时已经迟到，因此需要道歉，然后购买电影票。在困难难度下，受训者与朋友及另一人（朋友的朋友）有约会，需要与他们会面、自我介绍、讨论如何前往电影院以及各自喜欢的电影类型，然后选择一部电影，最后为所有人购买电影票。



图5. 电影院的朋友（上）、主区域（中）和售票处（下）。

2.1.4. 教室

在这个场景中，受训者必须参加一堂研讨课（见图6）。在简单难度下，受训者必须参加教练关于如何在互联网上查找可靠信息的3分钟讲座。受训者必须回答教练的问题，分享自己对维基百科的看法。在中等难度下，除了上述互动之外，受训者还必须在休息期间与同学交流，并询问他们的演讲情况。在困难难度下，受训者还必须为自己犯错向一位同学道歉，因为这一错误可能会损害他们共同项目及演讲的可信度。

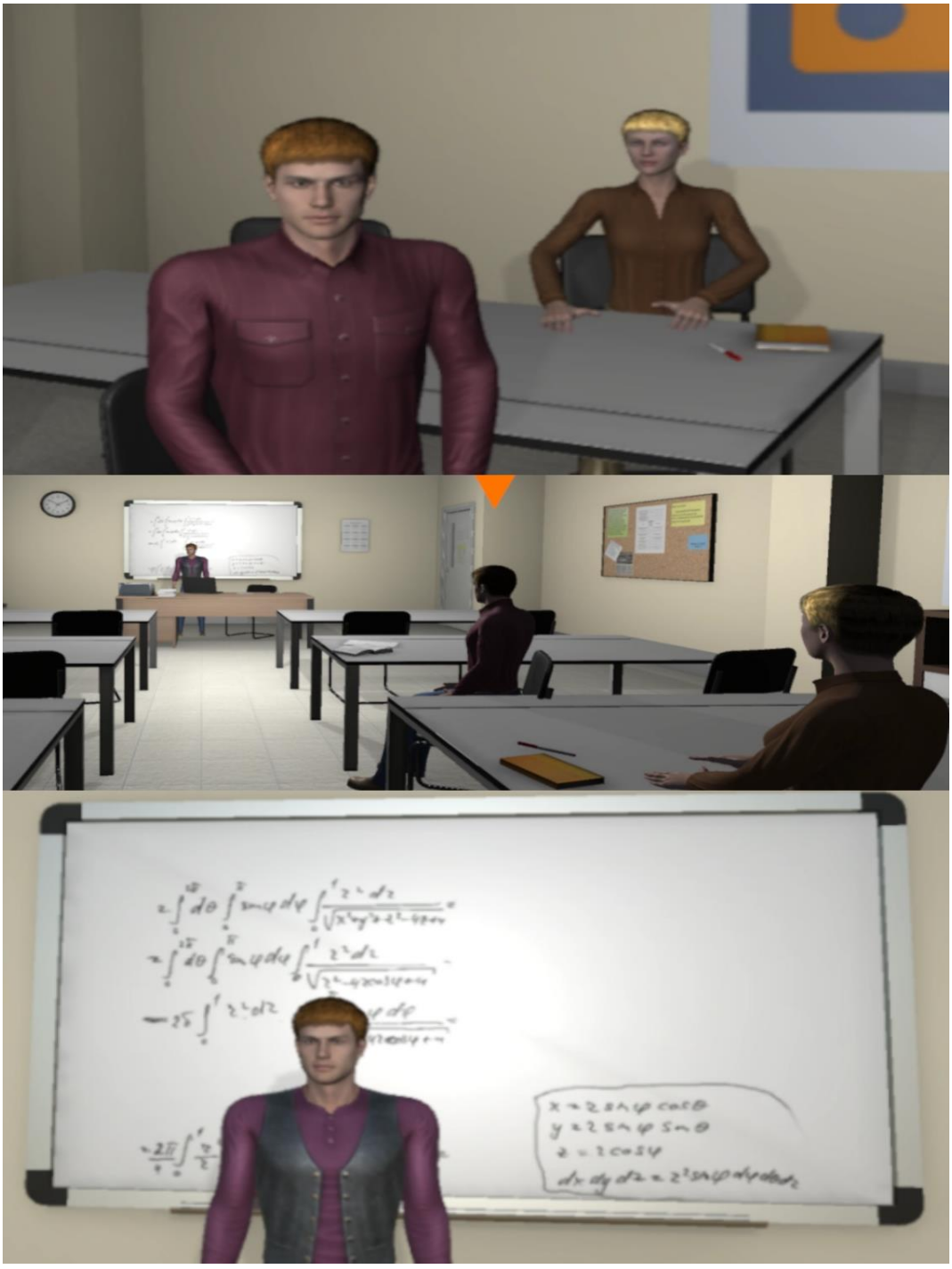

图6. 教室的同学（上方）、主区域（中间）和讲师（下方）。

2.1.5. 面试

在这一情境中，受训者需要前往一家信息技术公司的办公室参加求职面试（见图7）。在简单难度下，受训者需要说服团队领导聘用自己担任信息技术助理。在中等难度下，受训者需要同时说服团队领导和人力资源经理聘用自己担任信息技术助理。最后，在困难难度下，候客室里还多了一位候选人，受训者需要主动与其讨论，并获取可能有助于自己获得这份工作的信息。随后，受训者需要利用这些信息，说服团队领导和人力资源经理相信自己是这一职位的最佳人选。



图7。 办公室的人力资源经理（上）、主区域（中）和团队领导（下）。

2.2. 神经心理评估

2.2.1. 眼神读心测试（成人版）——心理状态／情绪识别

这项测试 [35] 用于测量参与者识别心理状态／情绪的能力。测试包含36张不同人物的眼部照片（仅展示眼睛），参与者需要仔细观察，然后从每张照片周围提供的四个选项中，选出最能描述该人物可能感受或想法的一项。要取得良好表现，参与者必须正确判断每张照片所呈现的情绪或心理状态。每答对一题得1分，分数范围为0至36分。《从眼睛读懂心思》

《眼中读心测验》迄今已用于数百项研究，并被发现具有良好的重测信度 [79], [80]。

2.2.2. 伦敦塔测验——计划

伦敦塔测验 [81] 用于测量参与者的计划技能。该测试包含两块相同的木板，一块供研究人员使用，另一块供参与者使用。每块木板上有三根木杆，杆上放着三个木球：一个绿色、一个红色和一个蓝色。参与者需要仅使用这些木球，按照每次规定的步数，复现一系列图案。参与者总共需要完成12道计划问题：两道需要2步的计划问题、两道需要3步的计划问题、四道需要4步的计划问题，以及四道需要5步的计划问题。要成功完成所有计划问题，参与者必须遵守两条规则。首先，每道计划问题必须在规定的步数内完成；其次，参与者每次只能从每根木杆上取下一个木球。研究人员记录成功完成（遵守规则）的计划问题数量。每成功完成一道题得1分，未能完成则得0分。这项测试是整个生命周期中最常用的计划能力测量方法 [82], ，且具有良好的重测信度 [83]。

2.2.3. 数字回忆——言语工作记忆

为评估言语工作记忆，研究人员实施了韦氏成人智力量表第三版 [84] 中的顺背和倒背数字广度分测验。参与者需要听取一串随机数字，并按照相同顺序复述给研究人员（例如，“请仔细听，然后按完全相同的顺序复述以下数字序列：*67893*”）。每串数字以每秒一个数字的速度读出。在倒背数字广度分测验中，参与者需要按相反顺序复述数字序列（例如，*“1236”* 将被复述为 *“6321”*）。若参与者在每个区组中连续两次正确复述，主试便进入下一个区组。每次正确作答计 1 分。数字广度已得到广泛研究，被认为是衡量工作记忆时信度和效度都很高的指标 [84], [85]。

2.2.4. 斯特鲁普测验——抑制

斯特鲁普测验 [86] 是一种广泛使用的词语—颜色干扰测量方法，包含两种条件。在一致条件下，墨水的颜色与所印颜色名称相同（例如，“黄色”一词用黄色墨水印刷）；而在不一致条件下，墨水的颜色与所印的颜色词不匹配。当对刺激某一特定特征的加工妨碍了对该刺激同时呈现的另一特征的加工时，抑制由此产生的认知干扰的能力称为斯特鲁普效应。该测验评估参与者产生相矛盾反应的能力：参与者需要读出不同颜色词所用墨水的颜色，而不是读出颜色词本身。记录反应时间（以秒为单位）。研究发现，斯特鲁普测验具有较高的重测信度 [87]。

2.3. 问卷

2.3.1. 人口统计学与IT技能

随后，参与者通过填写自定义问卷，提供了人口统计数据：年龄（岁）、性别、受教育年限、虚拟现实体验、计算机使用经验和游戏经验。虚拟现实、计算机使用和游戏经验的得分，分别通过将两道题（6 点李克特量表）的得分相加计算得出。第一道题询问参与者操作虚拟现实系统、计算机或游戏的能力（例如，5 分——技能娴熟）。第二道题则询问参与者操作虚拟现实系统、计算机或游戏的频率（例如，4 分——每周一次）。这种将能力与频率合并为综合得分的方法，被认为是评估个人使用某种技术媒介经验的有效方法 [71], [88]。

2.3.2. 服务使用者技术接受度问卷

服务使用者技术接受度问卷（SUTAQ）是一种有效且可靠的工具，用于评估目标人群对某种技术手段的可接受性；该人群正在使用或将使用这项远程医疗服务 [89]。该问卷包含 22 道题，采用 1 至 6 分的量表评分，以表示对所给陈述的认同程度。问卷分为 5 个部分，每部分包含 3 至 9 道题。将各部分的分项得分相加，即得总分。

2.3.3. 用户体验问卷

用户体验问卷（UEQ）的简版是一种有效工具，可用于评估用户对技术产品所提供用户体验的主观评价 [90]。UEQ由26个条目组成，分为6个类别。每个条目都包含一对含义相反的词语（例如“高效”和“低效”）。参与者使用7点李克特量表对每个条目进行评分，答案范围从-3（完全认同负面词语）到+3 （完全认同正面词语）。一半条目以正面词语开头，另一半以负面词语开头，且呈现顺序随机。将所有回答相加可得总分，用以表示整体用户体验。

2.3.4. 系统可用性量表

系统可用性量表（SUS）是一种简单高效的工具，用于评估系统的可用性 [91]。它由一份包含 10 个问题的问卷组成，采用五点李克特量表收集参与者的回答，选项从“非常同意”到“非常不同意”。这些回答汇总后得出总分，反映系统的可用性 [92]。SUS 可用于评估各种产品和服务，例如硬件、软件、移动设备、网站和应用程序 [92]。

2.3.5. 虚拟现实晕动症问卷

虚拟现实晕动症问卷（CSQ-VR）用于评估晕动症的症状及严重程度。研究表明，该问卷具有较强的结构效度和构念效度 [93]，，且与其他晕动症测量工具相比具有聚合效度 [94]。它评估不同亚型的晕动症症状，例如恶心、定向障碍和眼动症状。问卷包含 6 个问题，采用七点李克特量表作答，选项从“1－无感”到“7－感觉极强”。CSQ-VR 的总分通过将所有回答相加得出。

2.4. 参与者

招募了25名（25）患有自闭症谱系障碍（ASD）并经正式诊断的成年人（19名男性/6名女性），年龄介于19至52岁之间 [*M(SD) = 29.96(9.77)*]，，参与本研究。所有参与者的功能水平均为较高或中等（根据DSM-5，功能水平为1级和2级；[1]），均能流利地使用短语表达，智力正常，且由多学科团队的精神科医生依据DSM-5标准正式诊断为自闭症谱系障碍（ASD）[1] ；这些医生在针对神经发育障碍成年人的临床和研究方面经验丰富（另见[95]–[97]）。排除标准包括需要紧急精神科治疗的急性精神病理状况，以及全面智商（FSIQ）低于70。该研究已获得医院伦理委员会的伦理批准，所有参与者均向研究人员提供了书面知情同意。所有参与者均因参与本项目而获得补偿。

2.5. 程序

本研究中的每位参与者首先参加了一次神经心理学评估，以评估其认知功能。此外，参与者还参加了三次虚拟现实会话，在其中沉浸体验并完成不同难度级别的虚拟现实社交场景。最后一次虚拟现实会话结束时，他们填写了问卷。2.5.1. 神经心理学评估

研究人员在一次约会中（60 分钟）对参与者进行了心理状态/情绪识别测试和执行功能测量。在神经心理学评估过程中，首先进行心理状态/情绪识别测试，而执行功能任务的顺序则在参与者之间随机安排。每次评估结束时，研究人员都会对参与者的回答进行评分。必要时会安排休息。

2.5.2. 虚拟现实会话

参与者使用 HTC Vive Pro Eye 头戴式设备沉浸于 VRESS 中。该设备的性能大幅超出避免或缓解任何晕动症症状所建议的硬件标准 [63]。HTC Vive Pro Eye 集成了眼动追踪器，刷新率为 120Hz，追踪精度为 0.5°–1.1°。每位参与者进行三次虚拟现实会话，分别对应三个难度等级：简单、中等和困难。每次会话中完成五个情境。五个情境的顺序在参与者之间进行平衡（即每五位参与者构成一组，实现完全平衡设计）。之后，每位参与者在不同难度级别的会话中，情境顺序均保持一致。三次会话之间间隔一周。每次虚拟现实会话开始时，都会向所有参与者演示如何正确使用和操作头戴式设备及控制器。参与者根据情境要求，以站立或坐姿完成社交情境（见图 8；例如，教室和面试情境要求采取坐姿）。第三次虚拟现实会话结束后，参与者填写问卷（见上文第 2.3 小节），随后参加事后说明会，研究目标将在会上向他们说明。



图 8。参与者以站立或坐姿完成虚拟现实社交情境。图像经过模糊处理，以防识别出参与者。

2.5.3 虚拟现实社交情境中的表现评估

进行虚拟现实会话的研究人员同时也对参与者的表现进行评分。如上所述（见第 2.1 小节），作为 VRESS 操作人员的研究人员负责控制虚拟现实体验。在每个情境中，

参与者只需与虚拟环境中的三维角色交谈即可与其互动。随后，VRESS 操作人员（即研究人员）会选择三维角色的回应。所选回应是最适合参与者对该三维角色所说内容的回应。若参与者进行了不恰当的社会互动（例如，说了无关的话、保持沉默、重复同样的话或失言），操作人员便会向参与者提供提示，帮助他们作出恰当回应。如果参与者仍未按照社会情境的要求作出恰当回应，操作人员就会为三维角色选择一个回应，以推进该社会场景的情节。参与者的表现通过两项综合得分进行评估：任务完成得分和提示得分。任务完成情况根据参与者在每个社会场景中正确完成的社交任务／互动数量计算。参与者高效完成所有社交任务／互动时得 2 分；正确完成一半或超过一半的社会互动时得 1 分；正确完成的社会互动少于一半时得 0 分。每个难度级别分别计算任务完成总分（即该难度级别下五个社会场景所得分数之和）。将各难度级别的总分相加，得出任务完成总得分。同样，也会计算提示得分。研究人员记录参与者在每个社会场景中获得的提示次数。将每个难度级别下的提示次数相加，得出该难度级别对应的总分。将各难度级别的总分相加，得出提示总得分。

2.6. 统计分析

进行了描述性统计分析，以概述样本情况。进行了皮尔逊相关分析，以探究认知功能、虚拟现实社交场景中的表现，以及可接受性、可用性和用户体验评分之间的关系。进行了肯德尔τ相关分析，以考察其与自闭症谱系障碍个体功能水平的关联（即1—高功能，2—中等功能；二分变量）。进行了广义回归分析，以考察表现变量预测自闭症谱系障碍个体功能水平的能力。采用线性回归分析来检验可接受性、可用性、用户体验和提示次数的预测变量。使用R语言[98] 和RStudio[99] 进行分析。由于连续变量违反了正态性假设，因此使用R软件包*best-Normalize*[100] 对数据进行转换和中心化。随后，连续数据的分布符合正态分布。进行相应分析时，使用了R软件包*psych*（相关分析）[101]，、*ggplot2*（绘图）[102]，和*stats*（回归分析）[98] 。

3. 结果

3.1. 描述性统计

3.1.1. 人口统计信息

表1展示了人群的描述性统计。参与者的年龄似乎涵盖了成年早期的整个范围（即20至39岁）以及成年中期的前半段（即40至59岁），不过该人群主要代表前者。参与者的教育水平表明，大多数人接受过大学（本科）、学院或高中毕业后的职业教育。此外，参与者仅表现出无至极轻微的晕动症症状，这表明晕动症并未影响表现或用户体验指标。该人群的虚拟现实体验相对较少。然而，其计算机使用经验似乎处于可能得分的较高水平，说明参与者在日常生活中有丰富的计算机使用经验。不过，

游戏经验分布均衡，表明样本中的游戏玩家和非游戏玩家人数相当。

3.1.2. 神经心理学测试和社交情境中的表现

关于 VRESS 社交情境中的表现，任务完成得分的描述性统计显示存在天花板效应（即绝大多数参与者得分较高，接近或恰好达到可能的最高分），且方差有限。另一方面，在每种情境中有效完成社会互动所需的提示次数范围更广、方差也更大，因此可能更适合区分参与者之间的表现差异。最后，关于神经心理学测试的表现，描述性统计显示，参与者在情绪识别和执行功能测验中的表现处于中等（如数字广度倒背）或中上水平。然而，斯特鲁普测验的正确反应显示出天花板效应，而参与者在该测验中的反应时间则呈现出更大的方差和范围。

表1。 样本的描述性统计

变量	均值（标准差）	范围	最高分
性别（女性/男性）	6/19	-	-
自闭症谱系障碍功能水平（1/2）	14/11	-	-
Age	29.96 (9.76)	19 – 52	-
教育	15.88 (2.26)	12 – 20	-
晕动症	7.52 (2.04)	6 – 14	42
虚拟现实体验	3.48 (1.38)	2 – 6	12
计算机使用经验	8.96 (2.38)	3 – 12	12
游戏经验	6.68 (3.13)	2 – 12	12
可接受性	104.28 (21.07)	49 – 127	132
用户体验	126.00 (26.33)	78 – 180	180
可用性	77.12 (12.08)	54 – 98	100
任务完成得分	27.56（1.82）	24 – 30	30
提示得分	11.68 (4.38)	6 – 20	-
RTMIE	25.72 (5.21)	8 – 33	36
数字广度顺背	9.88 (2.33)	4 – 14	16
数字广度倒背	7.52（2.88）	2 – 13	14
伦敦塔测验	7.88 (2.06)	3 – 11	12
斯特鲁普 – 正确反应	48.24 (4.01)	30 – 50	50
斯特鲁普 – 反应时间*	65.44 (24.99)	36 – 159	-

RTMIE = 从眼睛读懂心思；*以秒为单位测量

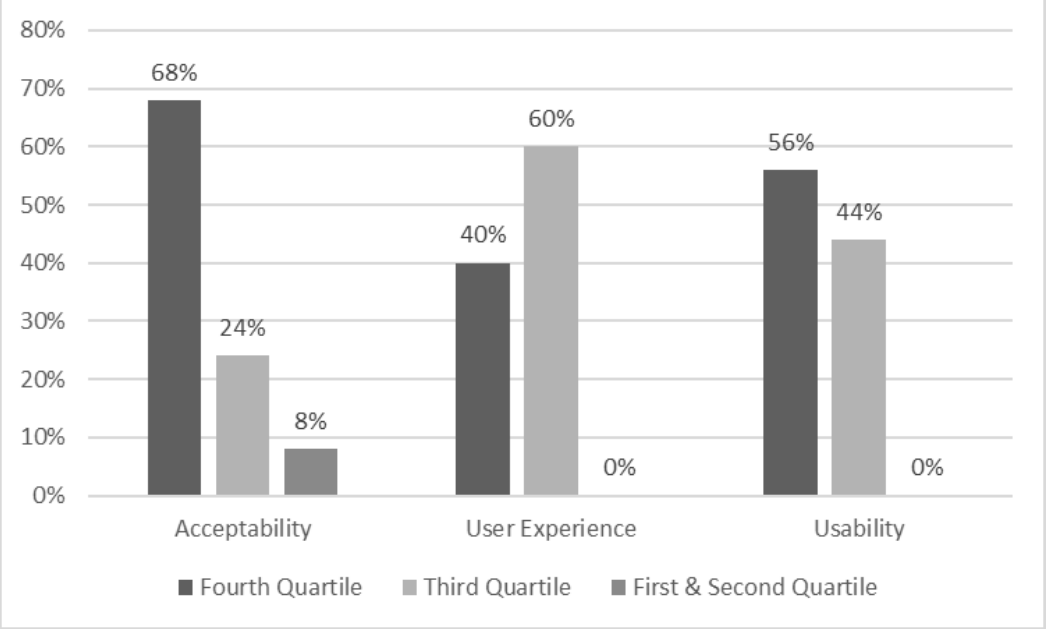

图9. 各分数四分位的回答比例；四分位数按照每份问卷的最高可能得分除以四来划分。第四四分位=为最高可能得分，第一四分位= 为最低可能得分。

3.1.3. 可接受性、用户体验与可用性评分

如表1和图9所示，绝大多数参与者表示，非常认可将沉浸式虚拟现实训练用作社会／健康服务。68% 的回答落在最高四分位，表明可接受性非常高。值得注意的是，92% 的参与者回答的总分高于 SUTAQ 的中间分数（即 66），这表明可接受性极高 [103]。在用户体验方面，大多数回答落在第三四分位（见图9），且所有回答均高于中间分数。这些得分表明用户体验良好至极佳 [90], [104]。同样，100% 的受访者在可能得分的第三和第四四分位给出了评分（见图9），这表明可用性良好至优秀 [92]。此外，综合考虑可用性得分的均值和标准差（见表1），VRESS 的可用性得分表明其可用性评级为很好至优秀 [92]。

3.2. 皮尔逊与肯德尔秩相关系数相关性

3.2.1. 人口统计学与自我报告及表现的相关性

参与者的人口统计信息与可接受性、可用性和用户体验评分均无显著关联（见表2）；然而，这些信息与社交情境表现及神经心理学测试结果之间存在显著相关性（见表3）。具体而言，参与者年龄与斯特鲁普测验中的正确反应呈正相关，但未发现其他相关性。同样，参与者的教育水平仅与数字广度得分以及顺背与倒背回忆呈正相关。参与者使用虚拟现实系统的经验与任何性能指标均无显著相关性。然而，计算机使用经验和游戏经验均与 RTMIE 表现显著相关，这表明更有计算机使用经验和／或电子游戏经验的人更善于识别他人的情绪／心理状态。与此发现一致，计算机使用经验也与虚拟现实社交场景中的总体任务完成得分相关。最后，电子游戏经验与斯特鲁普任务中的反应时间呈负相关。

表2。人口统计学与自我报告之间的皮尔逊相关

		年龄	教育	虚拟现实经验	计算机使用经验	游戏经验
可接受性	皮尔逊相关系数 0.345		-0.044	0.071	0.213	-0.141
	p值	0.091	0.834	0.736	0.306	0.503
用户体验	皮尔逊相关系数 0.351		-0.340	-0.061	0.096	-0.183
	p值	0.085	0.096	0.771	0.647	0.382
可用性	皮尔逊相关系数 0.119		0.031	0.269	0.310	0.169
	p值	0.572	0.884	0.193	0.131	0.420

经验 = 经验；*p <.05，** p <.01，***p <.001。

表3. 人口统计学与性能指标之间的皮尔逊相关

		Age	教育	虚拟现实经验	计算机使用经验	游戏经验
RTMIE	皮尔逊相关系数	0.059	0.372	0.276	***0.427****	***0.503****
	p值	0.780	0.067	0.181	***0.033***	***0.010***
DS前向	皮尔逊相关系数	-0.064	***0.412****	0.281	0.331	0.348
	p值	0.760	***0.040***	0.173	0.106	0.088
DS后向	皮尔逊相关系数	0.152	***0.413****	0.108	0.195	0.237
	p值	0.469	***0.040***	0.607	0.349	0.255
ToL	皮尔逊相关系数	0.206	0.349	0.356	0.393	0.349
	p值	0.323	0.088	0.081	0.052	0.087
斯特鲁普正确反应数	皮尔逊相关系数	***0.411****	-0.049	0.100	0.267	0.193
	p值	***0.041***	0.815	0.635	0.197	0.354
Stroop反应时	皮尔逊相关系数	0.037	-0.227	-0.340	-0.380	***-0.483****
	p值	0.860	0.276	0.097	0.061	***0.015***
提示	皮尔逊相关系数	-0.064	-0.096	0.347	-0.169	-0.115
	p值	0.760	0.647	0.059	0.419	0.585
任务完成	皮尔逊相关系数	0.177	0.206	-0.392	***0.468****	0.196
	p值	0.396	0.324	0.053	***0.018***	0.349

XP = 经验；*p <.05，** p <.01，***p <.001。

3.2.2. 自我报告、性能指标与自闭症谱系障碍功能水平

自闭症谱系障碍个体的功能水平仅与可用性评分、完成社交情境所需的提示次数、数字广度顺背表现以及斯特鲁普测验中的反应时间存在显著相关性（见表4）。具体而言，功能水平越高，系统感知可用性评分越高，完成社交任务所需的提示越少，言语工作记忆广度越大，抑制速度也越快。此外，可接受性、可用性和用户体验之间存在显著正相关（见表5），这表明虚拟现实系统的可用性越高，用户体验越好，也越能提升其作为数字社会／健康服务的可接受性。

表 4. Kendall’s Tau 显著相关性与自闭症谱系障碍功能水平

		可用性	提示	DS前向	Stroop反应时
ASD 功能水平	肯德尔 Tau B	***0.488****	***-0.406****	***0.416****	***-0.365****
	p值	***0.005***	***0.021***	***0.021***	***0.033***

数字广度 = 数字广度；反应时间 = 反应时间；*p <.05，** p <.01，***p <.001。

此外，社交情境中的表现与神经心理学测验的表现，均与关于可接受性、可用性和用户体验的自我报告显著相关。在情境中进行社会互动时需要更多提示，与较低的可接受性和系统感知可用性，以及较少的社交任务完成量相关。同样，较高的任务完成得分与较高的系统感知可用性相关。可用性还与数字广度得分（即顺背与倒背回忆；工作记忆广度更大）和伦敦塔测验（即计划能力更强）均呈正相关，并与斯特鲁普测验中的反应时间呈负相关（即抑制速度更快）。最后，完成社交任务所需的提示次数与数字广度顺背和伦敦塔测验得分呈显著负相关，这表明更强的工作记忆和计划能力分别有助于在无需支持和/或提醒的情况下进行社会互动。

表5. 自我报告与性能指标之间的皮尔逊相关

		可接受性	用户体验	可用性	提示	任务完成
可接受性	皮尔逊相关系数	-	-	-	-	-
	p值	-	-	-	-	-
用户体验	皮尔逊相关系数	***0.534*****	-	-	-	-
	p值	***0.006***	-	-	-	-
可用性	皮尔逊相关系数	***0.693******	***0.486****	-	-	-
	p值	***<.001***	***0.014***	-	-	-
提示	皮尔逊相关系数	***-0.451****	-0.200	***-0.757******	-	-
	p值	***0.024***	0.339	***<.001***	-	-
任务完成	皮尔逊相关系数	0.366	0.272	***0.523*****	***-0.635******	-
	p值	0.072	0.189	***0.007***	***<.001***	-
RTMIE	皮尔逊相关系数	-0.076	-0.158	0.004	-0.014	0.107
	p值	0.716	0.452	0.987	0.947	0.611
DS前向	皮尔逊相关系数	0.387	0.004	***0.628******	***-0.452****	0.285
	p值	0.056	0.986	***<.001***	***0.023***	0.167
DS后向	皮尔逊相关系数	0.228	0.072	***0.477*****	-0.299	0.207
	p值	0.273	0.733	***0.016***	0.146	0.321
ToL	皮尔逊相关系数	0.354	0.001	***0.685******	***-0.499****	0.262
	p值	0.083	0.995	***<.001***	***0.011***	0.206
斯特鲁普正确反应数	皮尔逊相关系数	0.039	0.145	0.182	-0.187	0.370
	p值	0.852	0.490	0.383	0.370	0.069
Stroop反应时	皮尔逊相关系数	-0.203	0.032	***-0.569*****	0.313	0.118
	p值	0.330	0.879	***0.003***	0.128	0.576

RTMIE = 眼神读心测试；DS = 数字广度；ToL = 伦敦塔测验；CR = 正确反应；RT = 反应时间；*p <.05，** p <.01，***p <.001。

3.3. 线性回归和广义线性模型3.3.1. ASD 功能水平

发现了三个用于预测自闭症谱系障碍个体功能水平的模型（见表6）。所有模型都显著优于零模型。这些模型的 R^2, 较高，表明它们可以解释功能水平方差的 26%–30%。所有预测变量都表现出较大的 β 系数，其中提示次数的系数最高，这表明需要更多提示在很大程度上预示着较低的

功能水平（见图10）。同样，工作记忆容量降低和抑制速度变慢，分别预示着自闭症谱系障碍个体的功能水平较低。

表6. 用于预测自闭症谱系障碍功能水平的最佳广义线性模型。

预测变量	χ^2	p值 (χ^2)	β 系数	p值（β）	R^2
提示	6.22	0.01*	-1.25	0.03*	0.30
DS前向	5.83	0.02*	1.22	0.04*	0.28
Stroop反应时	5.30	0.02*	-1.09	0.04*	0.26

数字广度 = 位数 广度；反应时间 = 反应时间；*p <.05，** p <.01，***p < .001.

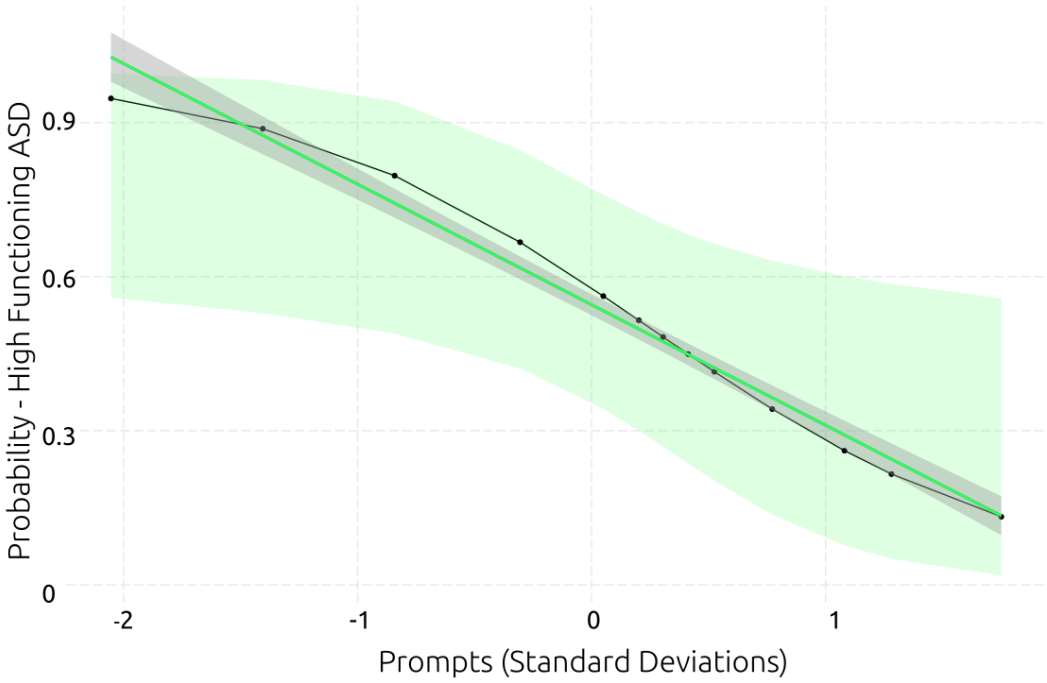

图10. 用于预测自闭症谱系障碍功能水平的最佳广义线性模型。

3.3.2. 在虚拟现实社交情境中的表现

考虑到任务完成表现出天花板效应，且分数范围和方差较小（见第3.1.2小节），而提示次数未受天花板效应影响，分数范围较广且方差较大，因此选用提示次数作为虚拟现实社交场景中表现的指标。只有数字广度顺背和伦敦塔测验是提示次数的显著预测变量。以数字广度顺背为预测变量的模型显著优于零模型，解释了提示次数方差的20%，且具有相对较大的β 系数 [$F(1,23) = 5.91, p = 0.02, R2 = 0.20$； $\beta = -0.46, p = 0.02$], 这表明，言语工作记忆广度越低，在虚拟现实情境中高效完成社交任务所需的提示次数越多。然而，伦敦塔测验得分是提示次数的最佳预测变量（见图11）。模型显示，计划能力解释了提示次数方差的25%，且具有稍大的β 系数，这表明计划能力越强，高效互动并完成虚拟现实社交场景所需的提示次数越少。

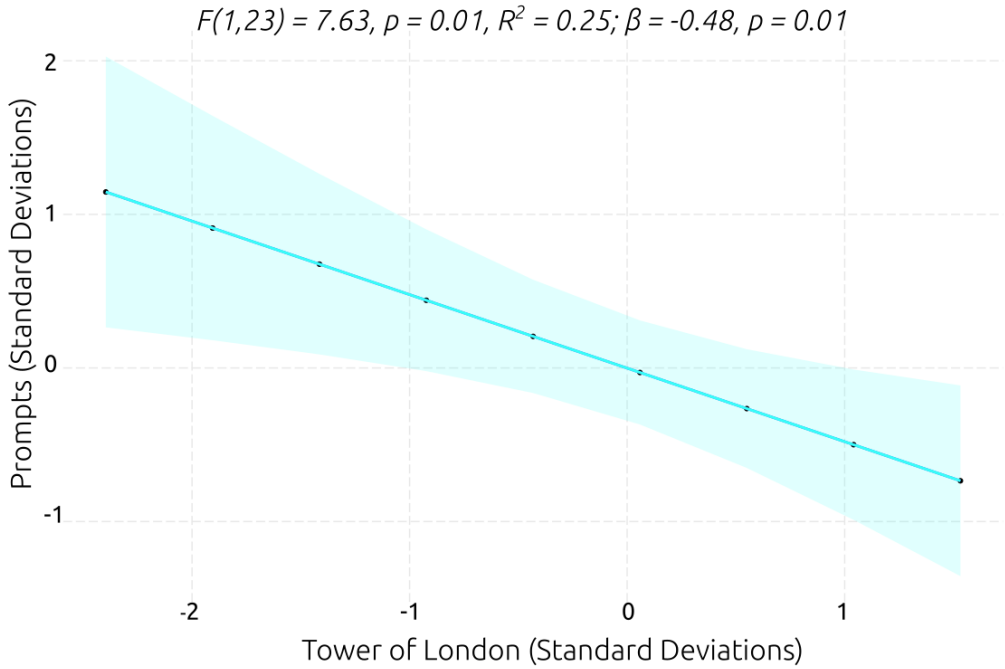

图11。 用于预测提示数量的最佳线性回归模型。3.3.3. 服务用户的可接受性和用户体验

以提示次数作为预测变量、预测服务用户可接受性的模型，是唯一显著优于零模型的模型（见图12）。模型显示，提示次数解释了可接受性评分方差的22%，且具有相对较大的β 系数，这表明在完成社交情境时需要更多提示的自闭症谱系障碍人士，给出的可接受性评分较低。同样，在预测用户体验评分的模型中，显著优于零模型的唯一模型是以系统感知可用性评分为预测变量的模型（见图13）。该模型解释了用户体验评分方差的25%，且具有较大的β 系数，表明认为虚拟现实系统可用性较高的人士报告的用户体验也较好。

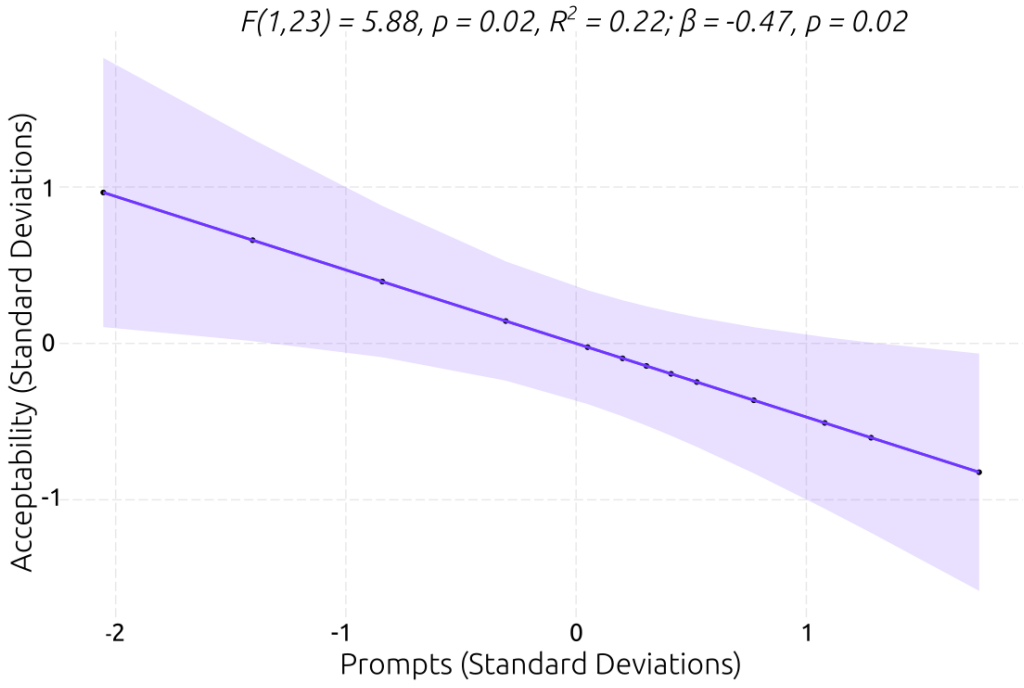

图12。 用于预测服务用户可接受性的最佳线性回归模型。

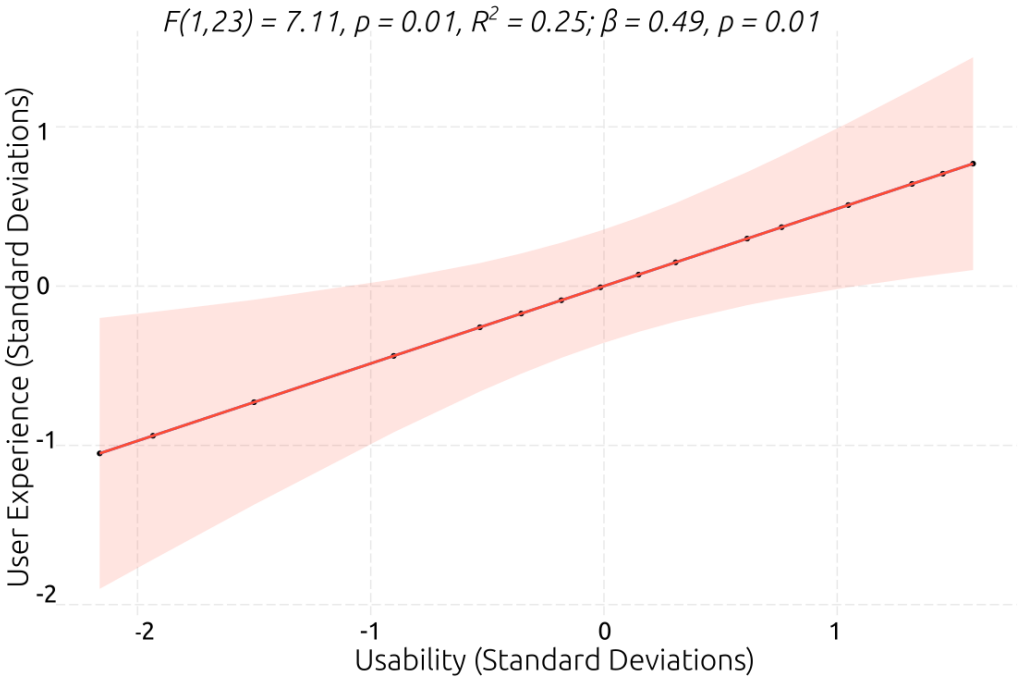

图13。 用于预测用户体验的最佳线性回归模型。

3.3.4. 系统感知可用性

在预测系统感知可用性时，研究发现了四个仅包含单一预测变量的模型，且这些模型均显著优于零模型（见表7）。所有预测变量的系数均为大效应（如任务完成情况）至极大效应（如提示次数）β，这表明工作记忆容量、计划能力和／或虚拟现实社交场景表现更好的人，感知到的系统可用性更高。虚拟现实社交场景中的总体任务完成情况、数字广度顺背（即言语工作记忆容量）以及伦敦塔测验（即计划能力），分别解释了系统感知可用性评分方差的27%、39%和47%。不过，最佳模型是以提示次数为预测变量的模型（见表7和图14）。该模型解释了可用性评分方差的57%，表明能够以较少提示高效完成虚拟现实社交场景任务的自闭症谱系障碍个体，感知到的系统可用性更高。

表7。 线性回归：用于预测系统感知可用性的最佳模型。

预测变量	F	p值（F）	β 系数	p值（β）	R^2
提示	30.81	< 0.001***	-0.79	< 0.001***	0.57
ToL	20.37	< 0.001***	0.69	< 0.001***	0.47
DS前向	14.98	< 0.001***	0.67	< 0.001***	0.39
任务完成	8.64	0.01**	0.52	0.01**	0.27

数字广度 = 数字广度；ToL = 伦敦塔测验；*p <.05，** p <.01，***p <.001。

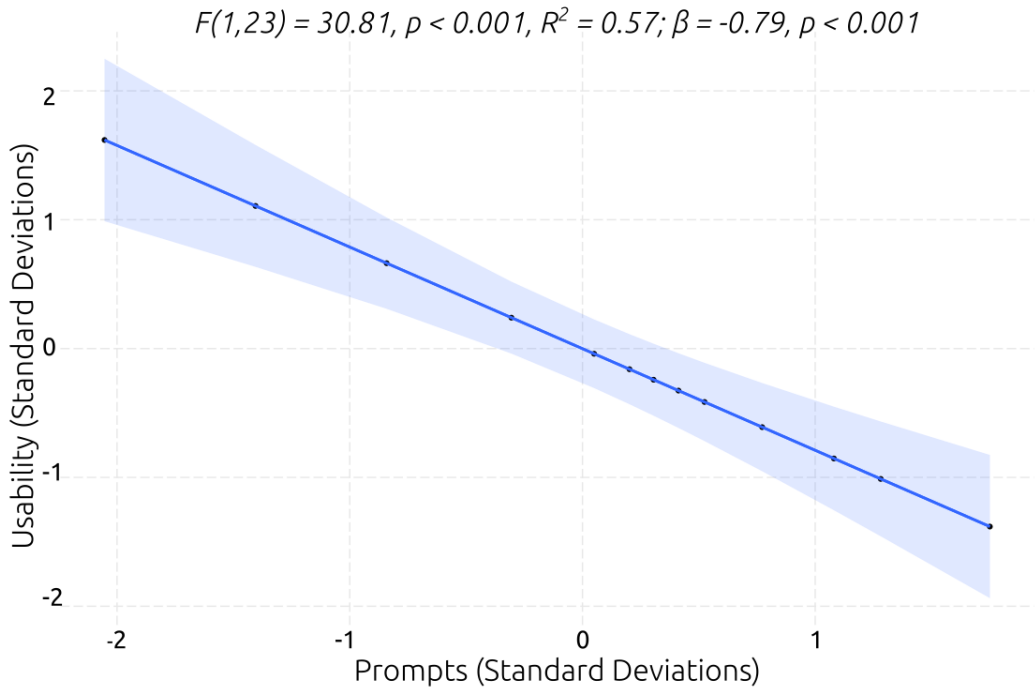

图14. 用于预测系统感知可用性的最佳线性回归模型。

4. 讨论

本研究首先旨在评估沉浸式虚拟现实社交技能训练软件（即 VRESS）在自闭症谱系障碍成年人的可用性、用户体验和可接受性。结果显示，就系统评分而言，VRESS 软件表现相对出色，评价积极，因为问卷平均得分接近可能得分范围的上限。其次，对心理状态／情绪识别、执行功能、自闭症谱系障碍个体的功能水平、虚拟现实社交场景表现与自我报告评分之间关系的考察，发现了若干具有统计学意义的关联。此外，回归模型（单一预测变量）分析还发现了若干方面的显著预测变量。虚拟现实社交场景中的表现（即高效完成社交任务所需的提示次数）是自闭症谱系障碍功能水平、虚拟现实系统感知可用性评分以及虚拟现实社交技能训练可接受性的最佳显著预测变量。抑制速度（即斯特鲁普任务中的反应时间）也是自闭症谱系障碍功能水平的显著预测变量。工作记忆（即数字广度顺背任务中的表现）是自闭症谱系障碍功能水平的第二佳预测变量，也是虚拟现实系统感知可用性的显著预测变量。最后，计划能力（即伦敦塔测试中的表现）是虚拟现实系统感知可用性的第二佳预测变量，也是虚拟现实社交场景表现的最佳预测变量。总体而言，本研究结果为虚拟现实社交技能训练在自闭症谱系障碍中的效用与可行性、执行功能对社交技能的可能影响，以及社交技能对自闭症谱系障碍严重程度的重要性，提供了有益见解。

4.1. 自闭症谱系障碍成人的虚拟现实社交技能训练

根据 SUTAQ、UXQ 和 SUS 的作者对如何解读技术干预可接受性 [103]，软件所营造的用户体验质量 [90]，[104]，以及系统可用性 [92]，评分的建议，参与者（自闭症谱系障碍者）对 VRESS 的可接受性、用户体验和可用性评价均非常高。较高的可接受性表明，这款软件 [103]，还支持远程干预和社交技能训练，可能会受到自闭症谱系障碍成年人的青睐。同样，可用性评价非常高，说明 VR 软件所需的用户

付出较少努力即可使用 [92]。在 VRESS 中，用户只需使用头戴式设备的麦克风与三维角色交谈，并通过按下控制器上的一个大按钮（左侧或右侧）在虚拟环境中移动。因此，受训者只需操作一个按钮，其余操作均由研究人员控制和执行（详情见第 2.1 小节）。最后，较高的用户体验评分表明，VR 软件为受训者提供了非常愉悦且沉浸式的体验 [90], [104]。鉴于提供令患者感到愉悦和积极的治疗过程，能够提升其参与度和治疗依从性，并增强治疗结果的效应量 [105], , VRESS 较高的用户体验表明，它可能取得相当的积极效果。

此外，鉴于目前缺乏有力证据支持在自闭症谱系障碍人群中实施沉浸式虚拟现实干预的可行性与可接受性[59], [60], [62], , 本研究结果为在自闭症谱系障碍人群中实施沉浸式虚拟现实社交技能训练是可行且能被自闭症谱系障碍成年人接受的这一结论提供了有力证据。然而，值得注意的是，VRESS 是依据心理科学领域虚拟现实软件开发指南设计的[71], , 这也使其符合 AACN 和 NAN 的标准[72]。因此，除了在可接受性、用户体验和可用性方面获得高评分外，参与者几乎没有出现晕动症症状，这表明 VRESS 是一款符合健康与安全标准的 VR 软件。最后，由于 VRESS 专为自闭症谱系障碍人士设计，其在可接受性、用户体验和可用性方面获得的高评分，凸显了开发 VR 软件时考虑自闭症谱系障碍中普遍存在的认知和行为症状的必要性。然而，一个缺点是，社交情境中的表现显著预测了 VRESS 的可用性和可接受性。这一发现表明，参与者表现不佳时产生的负面感受会使他们对 VRESS 的评分降低，而成就感带来的积极感受则会使评分更高。错误纠正和无错误学习均被视为对自闭症谱系障碍有效的方法[106], , 但本研究结果表明，在虚拟现实社交技能训练中采用无错误方法，或许能进一步提高可接受性和感知可用性。因此，与其接受 VRESS 操作人员/研究人员的提示（这可能被视为外部纠正），不如由虚拟现实系统提供游戏内引导，帮助受训者无错误地完成社交任务，同时让他们觉得自己是在没有外部协助的情况下完成任务的（例如，没有研究人员的帮助）。因此，在未来迭代开发 VRESS 时，应优先采用无错误方法。

4.2. 人口统计学在《认知》中的作用

4.2.1. 执行功能

结果显示，言语工作记忆与参与者的教育程度相关。考虑到大多数学术任务都涉及阅读和讲座，而这些活动高度依赖言语工作记忆，因此数字广度得分与教育程度之间的关系并不令人意外。工作记忆在教育成就中发挥着重要作用，因为研究一贯发现它能够预测学业成功 [107], [108]。工作记忆参与信息的保持与加工 [109], , 与广泛阅读、理解能力和数学能力显著相关 [110]–[112]。就抑制能力而言，研究发现，斯特鲁普反应时间与游戏体验评分和可用性显著相关。抑制能力越快，感知可用性评分越高；这一发现或许表明，参与者能够更快地抑制自动反应或忽略干扰，从而更好地使用和操作该软件。游戏经验与抑制反应时间之间的显著关联，与以往证据一致：与非游戏玩家相比，电子游戏玩家通常反应时间更快、错误更少 [113]。研究还发现，动作电子游戏玩家的视觉和听觉信息加工速度更快；因此，他们

其反应时间比非游戏玩家更快 [114]。事实上，练习依赖抑制能力和工作记忆的任务（例如电子游戏），可能会提升人在类似任务中的表现 [115]。

4.2.2. 心理状态／情绪识别

关于心理状态／情绪识别能力，我们未发现其与虚拟现实社交场景中的表现显著相关，仅发现其与计算机使用经验和游戏经验变量相关。先前的证据表明，自闭症谱系障碍个体在识别心理状态／情绪方面存在困难（例如，[116]–[118]），但关于该能力与社交能力之间关联的研究结果有限且不一致（例如，[26]）。总体而言，正如引言部分所述，自闭症谱系障碍个体的社会认知能力（例如识别心理状态／情绪）与社交技能之间并未呈现一致的关联。我们的结果显示，在自闭症谱系障碍成年人中，可能是其他认知功能（例如执行功能）与社交技能的表现关系更为密切。不过，考虑到可能没有任何单一认知构念能够解释自闭症谱系障碍个体社交困难的全部方差，仍需开展进一步研究，以更深入地阐明这种关联。未来研究还可考虑其他可能影响社交技能的情绪和关系因素。例如，自闭症谱系障碍个体可能难以调节自身情绪（情绪调节）或共情他人的感受，这可能使他们难以对社会线索和情境作出恰当回应。同样，低自尊、负面人际关系，甚至较低的社交动机，也可能影响自闭症谱系障碍者或非自闭症谱系障碍者社交技能的形成。最后，心理状态／情绪识别、游戏经验和计算机使用经验之间的相关性表明，电子游戏经验更丰富的个体在RTMIE测试中识别心理状态／情绪的能力更强。现代电子游戏具有互动性，可提供逼真的电影式场景和富有吸引力的虚拟角色，其面部表情也十分复杂，这可能提升玩家在现实情境中推断和识别情绪与心理状态的能力。

4.2. 执行功能与社交技能

Gollwitzer 的执行意图指制定有效行动计划，其中包含线索与预期行动之间的关联（例如，如果我遇到 X，就会做 Y）[119]。相应地，计划能力是一种执行功能，需要人们思考未来，并据此组织和确定未来行动的优先顺序，以实现预期目标 [15], [120]。在日常生活中，计划会确定行动发生的时间和地点，并根据获取的信息更新行动计划或调整其优先顺序（例如，我收到健身房订阅费逾期的通知，因此今晚需要续订）[120]。因此，计划能力受损在日常功能受限的临床人群中十分普遍[121], [122], ，自闭症谱系障碍人群中也如此[123], [124]。本研究采用伦敦塔测试测量计划能力。该测试要求个体制定明确的行动计划，列出实现目标所需的所有步骤[81]。研究发现，计划能力是预测虚拟现实社交场景中表现（即提示次数）的最佳预测变量。与日常生活相似，虚拟现实社交场景要求参与者计划并实施策略，包括如何移动身体、调节说话语气、表达想法和观点，以及决定与谁互动、如何互动，以实现相应的社交目标（例如，选一部电影并购买电影票）。计划能力较弱的自闭症谱系障碍参与者在完成这些社交情境中的指定任务时遇到了更多困难。另一方面，计划能力较强的自闭症谱系障碍参与者在 VRESS 中完成社交任务时所需的提示更少，这表明他们的计划能力帮助他们在无需支持的情况下进行社会互动。这些结果和解读与儿童研究的发现一致

在胎儿酒精谱系障碍 [121] 和 22q11缺失综合征 [122], 人群中，计划能力也是社交技能的重要预测变量。值得注意的是，与自闭症谱系障碍个体相似 [123], [124], ，患有这些综合征的个体也经常存在社交技能和计划能力受损的问题[121], [122]。结合本研究及以往研究的结果来看，计划技能可能有助于促进社会互动，因为个体需要计划并监控自己和他人的行动，以调整自身的反应和行为。因此，成功的社会互动不仅需要转换自己和他人的视角或处理社会线索（即工作记忆），也可能需要计划能力来选择行为决策和策略。需要指出的是，如上所述，社交策略可能涉及有意识的计划，但社会行为当然也可能是无意识的（尤其是在日常生活中），因为它们往往基于以往的互动或情绪体验。

这与一项关于自闭症谱系障碍患者工作记忆损伤的研究综述一致；该综述发现，言语工作记忆得分较低与适应性行为问题较多相关。[125], 本研究中，言语工作记忆与虚拟现实社交场景中的表现（即提示次数）相关。在 VRESS 情境中，社交互动等情境对信息处理提出了很高要求，这进而要求工作记忆的执行系统进行更多受控的注意加工。数字广度得分较高的自闭症谱系障碍参与者在 VRESS 中完成社交任务所需的提示较少，这表明工作记忆可能有助于社交互动，使个体无需获得支持和/或提醒。社交互动过程中，对他人想法、信念及心理/情绪状态的识别与理解等认知结构需要占用更多工作记忆资源，[126] 因为个体必须主动维持并加工个人视角以及来自外部社会线索的全新复杂信息。因此，社交互动可视为一种双重任务（即需要平衡个人视角与互动对象的视角），也因此需要工作记忆机制。[127]综合这些发现，很可能是工作记忆能力较低的自闭症谱系障碍参与者需要更多提示才能完成社交情境，因为只有有效地维持和处理视角、社会线索及沟通策略，才能实现有效的社会认知和社会互动。尽管如此，工作记忆能力并非虚拟现实社交场景中表现的显著预测变量，这表明它对社交技能的影响可能是次要的和/或具有调节作用。事实上，我们对研究结果的这一解读与近期一项研究的发现一致：该研究观察到，在早期学龄阶段（社交技能的习得至关重要），工作记忆在言语能力与社交技能之间发挥调节作用。[128]

4.3. 自闭症谱系障碍的功能水平预测变量

我们的结果表明，自闭症谱系障碍的功能水平与抑制和言语工作记忆有关，且可由二者预测，这支持了此前的证据：该证据指出，执行功能与自闭症谱系障碍后期的严重程度特征/症状之间存在关联 [129]。一般而言，执行功能受损被认为是谱系障碍核心严重症状的根源 [125], [130]。与这一证据一致，我们的结果表明，执行功能对自闭症谱系障碍至关重要，并凸显了其作为支持和训练/干预关键领域的重要性。不过需要指出的是，迄今为止，人们普遍较少关注对潜在认知因素的考察，而这些因素对于在自闭症谱系障碍中实施及时有效的干预可能至关重要。未来的纵向研究可进一步明确执行功能对自闭症谱系障碍成年人的预后是否具有预测意义。

不过，最重要的是，研究发现，虚拟现实社交场景中的表现（即提示次数）是 ASD 功能水平的最佳显著预测变量。社交与沟通技能受损是自闭症谱系障碍的核心特征，无论功能水平如何，这一特征在整个谱系中都很常见 [131]–[134]。尽管一些最佳

童年期自闭症谱系障碍严重程度／功能水平的预测变量是语言水平 [135] 或智商 [136]，，但研究发现，社交与沟通技能的严重程度与

[131], [134], [132], [133],

相关，或在自闭症谱系障碍诊断下不同的功能水平之间存在差异。因此，将虚拟现实社交场景中的表现视为自闭症谱系障碍功能水平的重要预测变量，与上述研究的发现一致。不过，需要指出的是，本研究结果表明，社交技能不仅是重要的预测变量，也是自闭症谱系障碍功能水平的最佳预测变量。鉴于本研究的参与者均依据 DSM-5 [1], 被诊断为功能水平 1 或 2（即分别为高功能和中度功能），这一结果表明，社交技能可能是自闭症谱系障碍高功能和中度功能成年人的核心功能指标。值得注意的是，VRESS 的社交情境具有较高的生态效度，能够呈现日常功能 [52], [72]。因此，这一结果也可能归因于 VRESS 社交情境较高的生态效度，因为这些情境涵盖了日常生活中社交背景与情境的复杂性和要求。

4.4. 局限性与未来研究

解读本研究的发现时，应考虑其局限性。本研究纳入的自闭症谱系障碍成年人样本可能无法代表该谱系中更广泛的人群。参与者的平均年龄约为30岁，主要代表成年早期人群（即20至39岁）。因此，未来研究需要确定这些结果能否在年龄更小的儿童、青少年和/或老年人中得到重复验证。此外，当前研究并非随机对照试验，因而无法有效考察 VRESS 在提升自闭症谱系障碍个体社交技能方面的有效性。因此，未来研究应考虑采用随机对照试验方案，并纳入对照组，以仔细评估虚拟现实干预在提升自闭症谱系障碍成年人社交技能方面的有效性。最后，VRESS 未采用无错误学习方法，而我们的结果显示，这种方法可能对自闭症谱系障碍成年人有益。未来版本的 VRESS 应采用无错误学习方法，以提高其有效性。最后，未来还需开展虚拟现实研究，以确定自闭症谱系障碍人群认知和社会功能的更多潜在预后标志物。

5. 结论

VRESS 似乎是一种适宜的虚拟现实社交技能训练系统，能够为自闭症谱系障碍人士提供较高的可接受性、可用性和用户体验，且不会诱发不良症状。关于 VRESS 的这些积极结果也支持在自闭症谱系障碍人士中实施虚拟现实社交技能训练的有效性和可行性。此外，研究发现，执行功能与自闭症谱系障碍成年人的社交技能有关。最后，社交技能被视为衡量自闭症谱系障碍成年人严重程度／功能水平的最佳指标。

作者贡献： 概念化，K.P.、V.M.、C.S. 和 A.P；方法论，P.K.、E.K.、C.S. 和 A.P；软件，P.K. 和 C.S.；验证，P.K.、E.K.、P.R.、V.M.、K.P.、C.S. 和 A.P；正式分析，P.K. 和 P.R.；调查，P.K. 和 E.K.；资源，K.P.、C.S.、V.M. 和 A.P；数据管理，P.K.、E.K. 和 P.R.；初稿撰写，P.K. 和 E.K.；审阅与编辑，P.K.、E.K.、P.R.、V.M.、K.P.、C.S. 和 A.P；可视化，P.K. 和 P.R.；监督，P.R.、K.P. 和 A.P ；项目管理，P.K. 和 C.S. ；资金获取，C.S.。所有作者均已阅读并同意发表该稿件版本。

资金支持： VRESS项目通过“研究—创作—创新”项目征集（项目代码：T1EDK-01248），由欧盟欧洲区域发展基金和希腊国家资金共同资助，资金来自“竞争力、创业与创新”业务计划。

机构审查委员会声明： 本研究按照《赫尔辛基宣言》进行，并经Eginition医院伦理委员会批准（117/16.03.2020年）。

知情同意声明： 所有参与研究的受试者均已提供知情同意 e
研究。
数据可用性声明：本研究所呈现的数据可向通讯作者索取。由于伦理审批要求，数据不公开提供。

致谢：我们谨向参与者致谢，感谢他们参加并投入本研究项目。此外，我们衷心感谢 Omega Technology 开发 VRESS，并允许我们在本研究中使用它。

利益冲突：作者声明不存在利益冲突。

参考资料

[1] 美国精神病学会，《精神障碍诊断与统计手册》（第5版）。作者，2013年。doi: 10.1176/appi.books.9780890425596。[2] J. Zeidan 等，《自闭症的全球患病率：系统综述更新》，《自闭症研究》，第15卷，第5期，778–790页，2022年5月，doi: 10.1002/aur.2696。[3] R. Loomes、L. Hull 和 W. P. L. Mandy，《自闭症谱系障碍的男女比例是多少？系统综述与荟萃分析》，《美国儿童与青少年精神病学会杂志》，第56卷，第6期，466–474页，2017年6月，doi: 10.1016/j.jaac.2017.03.013。[4] P. Chaste 和 M. Leboyer，《自闭症风险因素：基因、环境及基因与环境相互作用》，《临床神经科学对话》，第14卷，第3期，281–292页，2012年9月，doi: 10.31887/DCNS.2012.14.3/pchaste。[5] C. Lord、M. Elsabbagh、G. Baird 和 J. Veenstra-Vanderweele，《自闭症谱系障碍》，《柳叶刀》，第392卷，第10146期，508–520页，2018年8月，doi: 10.1016/S0140-6736(18)31129-2。[6] R. Keller 等，《自闭症谱系障碍成年人的现实社交技能训练与运动技能训练：沿弗朗奇杰纳路线徒步的 Con-Tatto 项目》，《精神病学前沿》，第13, 2022, [在线]。可访问：https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2022.846619[7] A. J. McVey 等，《面向青年自闭症谱系障碍患者的 PEERS® 社交技能干预的重复验证与拓展：考察其对青年社交技能和社交焦虑的影响》，《自闭症与发育障碍杂志》，第46卷，第12期，3739–3754页，2016年12月，doi: 10.1007/s10803-016-2911-5。[8] K. E. Morrison、A. E. Pinkham、D. L. Penn、S. Kelsven、K. Ludwig 和 N. J. Sasson，《自闭症谱系障碍与精神分裂症成年人的社交技能特征各异》，《自闭症研究》，第10卷，第5期，878–887页，2017年5月，doi: 10.1002/aur.1734。[9] A. B. Ratto、L. Turner-Brown、B. M. Rupp、G. B. Mesibov 和 D. L. Penn，《情境化社交技能评估（CASS）的开发：针对高功能自闭症个体的社交技能角色扮演测量工具》，《自闭症与发育障碍杂志》，第41卷，第9期，1277–1286页，2011年9月，doi: 10.1007/s10803-010-1147-z。[10] O. Shtayermman，《确诊阿斯伯格综合征的青少年和青年遭受同伴欺凌：与抑郁症状、焦虑症状及自杀意念的关联》，《综合儿科护理问题》，第30卷，第3期，87–107页，2007年1月，doi: 10.1080/01460860701525089。[11] G. Iarocci 和 E. Gardiner，《执行功能与自闭症谱系障碍儿童社交能力的发展》，载于《儿童日常生活中的执行功能：应用心理学专业人士手册》，M. J. Hoskyn、G. Iarocci 和 A. R. Young 编。牛津大学出版社，2017年，第0页。doi: 10.1093/ac-prof:oso/9780199980864.003.0010。[12] S. M. Haigh、J. A. Walsh、C. A. Mazefsky、N. J. Minshew 和 S. M. Eack，《自闭症谱系障碍成年人的加工速度受损，且与社交沟通能力相关》，《自闭症与发育障碍杂志》，第48卷，第8期，2653–2662页，2018年8月，doi: 10.1007/s10803-018-3515-z。

[13] 王A. Dancheva和M. Mayo，“自闭症谱系障碍中的执行功能与理论模型：实证发现及其作为内表型的潜力，”《精神病学前沿》，第10卷，2019年，[在线]。可获取：https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2019.00753[14] M. D. Lezak，《神经心理评估》第3版。美国纽约州纽约市：牛津大学出版社，1995年，第xviii、1026页。[15] A. Miyake、N. P. Friedman、M. J. Emerson、A. H. Witzki、A. Howerter和T. D. Wager，“执行功能的统一性与多样性及其对复杂‘额叶’任务的贡献：潜变量分析”，《认知心理学》，第41卷，第1期，第49–100页，2000年8月，doi：10.1006/cogp.1999.0734。[16] E. A. Demetriou 等，“自闭症谱系障碍：执行功能荟萃分析”，《分子精神病学》，第23卷，第5期，第1198–1204页，2018年5月，doi：10.1038/mp.2017.75。[17] C. L. E. Lai 等，“高功能自闭症谱系障碍儿童和青少年执行功能神经心理学测量的荟萃分析”，《自闭症研究》，第10卷，第5期，第911–939页，2017年5月，doi：10.1002/aur.1723。[18] V. C. Fong和G. Iarocci，“执行功能在预测自闭症谱系障碍儿童社交能力中的作用”，《自闭症研究》，第13卷，第11期，第1856–1866页，2020年11月，doi：10.1002/aur.2350。[19] N. R. Riggs、L. B. Jahromi、R. P. Razza、J. E. Dillworth-Bart和U. Mueller，“执行功能与社会情绪能力的促进”，《应用发展心理学杂志》，第27卷，第4期，第300–309页，2006年7月，doi：10.1016/j.appdev.2006.04.002。[20] E. S. Nilsen和A. M. Fecica，“面向典型与非典型儿童人群的交际视角采择模型”，《发展评论》，第31卷，第1期，第55–78页，2011年3月，doi：10.1016/j.dr.2011.07.001。[21] L. M. Freeman、J. Locke、E. Rotheram-Fuller和D. Mandell，“简要报告：考察小学年龄自闭症儿童的执行功能与社交功能”，《自闭症与发育障碍杂志》，第47卷，第6期，第1890–1895页，2017年6月，doi：10.1007/s10803-017-3079-3。[22] L. Kenworthy、D. O. Black、B. Harrison、A. della Rosa和G. L. Wallace，“高功能儿童的执行控制功能是否与自闭症症状相关？”，《儿童神经心理学》，第15卷，第5期，第425–440页，2009年8月，doi：10.1080/09297040802646983。[23] C. E. Pugliese、L. Anthony、J. F. Strang、K. Dudley、G. L. Wallace和L. Kenworthy，“自闭症谱系障碍中适应行为技能缺陷从童年期到青春期不断加重：执行功能的作用”，《自闭症与发育障碍杂志》，第45卷，第6期，第1579–1587页，2015年6月，doi：10.1007/s10803-014-2309-1。[24] L. Gilotty、L. Kenworthy、L. Sirian、D. O. Black和A. E. Wagner，“自闭症谱系障碍中的适应技能与执行功能”，《儿童神经心理学》，第8卷，第4期，第241–248页，2002年12月，doi：10.1076/chin.8.4.241.13504。[25] S. Baron-Cohen、A. M. Leslie和U. Frith，“自闭症儿童是否具有‘心理理论’？”，《认知》，第21卷，第1期，第37–46页，1985年，doi：https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90022-8。[26] D. Alkire、K. A. McNaughton、H. A. Yarger、D. Shariq和E. Redcay，“自闭症儿童与典型发育儿童及青少年在自然对话中的心理理论”，自闭症，第13623613221103700页，2022年6月，doi：10.1177/13623613221103699。[27] E.-C. Kouklari、T. Thompson、C. P. Monks和S. Tsermentseli，“自闭症谱系障碍儿童的热执行功能与冷执行功能及其与心理理论的关系”，《认知与发展杂志》，第18卷，第4期，第399–418页，2017年8月，doi：10.1080/15248372.2017.1339708。

[28] E.-C. Kouklari、S. Tsermentseli和C. P. Monks，“自闭症谱系障碍学龄儿童热执行功能与冷执行功能的发展趋势：与心理理论的联系”，《发展与心理病理学》，第31卷，第2期，第541–556页，2019年，doi：10.1017/S0954579418000081。[29] A. Gentil-Gutiérrez 等，“家庭和学校环境中的自闭症谱系障碍儿童与青少年的执行功能”，《国际环境研究与公共卫生杂志》，第19卷，第13期，2022年，doi：10.3390/ijerph19137834。[30] C. Hughes、J. Dunn和A. White，“不给糖就捣蛋？‘难以管教’学龄前儿童对心理与情绪的理解不均衡及执行功能障碍”，《儿童心理学与精神病学及相关学科杂志》，第39卷，第7期，第981–994页，1998年，doi：10.1111/1469-7610.00401。[31] H. Tager-Flusberg，“评估自闭症的心理理论假说”，《当代心理科学》，第16卷，第6期，第311–315页，2007年12月，doi：10.1111/j.1467-8721.2007.00527.x。[32] C. A. Mazefsky 等，“情绪调节在自闭症谱系障碍中的作用”，《美国儿童与青少年精神病学会杂志》，第52卷，第7期，第679–688页，2013年7月，doi：10.1016/j.jaac.2013.05.006。[33] J. N. Constantino，“社会反应量表”，载于《自闭症谱系障碍百科全书》，F. R. Volkmar编。纽约：Springer New York，2013年，第2919–2929页。doi：10.1007/978-1-4419-1698-3_296。[34] T. P. Bruni，“测评述评：社会反应量表第二版（SRS-2）”，《心理教育评估杂志》，第32卷，第4期，第365–369页，2014年7月，doi：10.1177/0734282913517525。[35] S. Baron-Cohen、S. Wheelwright、J. Hill、Y. Raste和I. Plumb，“修订版‘从眼睛读懂心思’测验：针对正常成年人以及阿斯伯格综合征或高功能自闭症成年人的研究”，《儿童心理学与精神病学杂志》，第42卷，第2期，第241–251页，2001年，doi：https://doi.org/10.1111/1469-7610.00715。[36] K. Papanikolaou 等，“在智力能力范围广泛的希腊样本中，使用自闭症诊断访谈修订版和自闭症诊断观察量表通用版诊断自闭症谱系障碍”，《自闭症与发育障碍杂志》，第39卷，第3期，第414–420页，2009年3月，doi：10.1007/s10803-008- 0639-6。[37] C. Lord 等，“自闭症诊断观察量表通用版：用于测量自闭症谱系相关社交与沟通缺陷的标准化工具”，《自闭症与发育障碍杂志》，第30卷，第3期，第205–223页，2000年6月，doi：10.1023/A:1005592401947。[38] Y. Dandil、K. Smith、E. Kinnaird、C. Toloza和K. Tchanturia，“自闭症谱系状况的认知矫正干预：系统综述”，《精神病学前沿》，第11, 2020, [卷]。可获取：https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyt.2020.00722[39] S. M. Eack 等，“针对患有自闭症谱系障碍成年人的认知增强疗法：一项为期18个月的可行性研究结果”，《自闭症与发育障碍杂志》，第43卷，第12期，第2866–2877页，2013年12月，doi：10.1007/s10803-013-1834-7。[40] M. Miyajima 等，“使用自闭症谱系障碍额叶／执行功能训练项目进行认知矫正疗法的效果”，《国际精神病学与医学杂志》，第51卷，第3期，第223–235页，2016年4月，doi：10.1177/0091217416651254。[41] A. Pasqualotto、N. Mazzoni、A. Bentenuto、A. Mulè、F. Benso和P. Venuti，“认知训练项目对自闭症谱系障碍儿童和青少年执行功能的影响：系统综述”，《脑科学》，第11卷，第10期，2021年，doi：10.3390/brainsci11101280。[42] J. Au、E. Sheehan、N. Tsai、G. J. Duncan、M. Buschkuehl和S. M. Jaeggi，“通过工作记忆训练提高流体智力：荟萃分析”，《心理学通报与评论》，第22卷，第2期，第366–377页，2015年4月，doi：10.3758/s13423-014-0699-x。

[43] J. Karbach 和 P. Verhaeghen，《让工作记忆发挥作用：老年人执行控制与工作记忆训练的荟萃分析》，《心理科学》，第25卷第11期，第2027–2037页，2014年，doi: 10.1177/0956797614548725。[44] M. Melby-Lervåg、T. S. Redick 和 C. Hulme，《工作记忆训练无法提升智力或其他“远迁移”测量的表现：荟萃分析综述的证据》，《心理科学展望》，第11卷第4期，第512–534页，2016年7月，doi: 10.1177/1745691616635612。[45] E. A. Laugeson 和 R. Ellingsen，《自闭症谱系障碍青少年和成年人的社交技能训练》，载于《患有自闭症谱系障碍的青少年和成年人》，F. R. Volkmar、B. Reichow 和 J. C. McPartland 编。纽约州纽约市：Springer New York，2014年，第61–85页。doi: 10.1007/978-1-4939-0506-5_4。[46] A. Gantman、S. K. Kapp、K. Orenski 和 E. A. Laugeson，《高功能自闭症谱系障碍青年社交技能训练：一项随机对照试点研究》，《自闭症与发育障碍杂志》，第42卷第6期，第1094–1103页，2012年6月，doi: 10.1007/s10803-011-1350-6。[47] L. Bishop-Fitzpatrick、N. J. Minshew 和 S. M. Eack，《针对自闭症成年人的心理社会干预系统综述》，《自闭症与发育障碍杂志》，第43卷第3期，第687–694页，2013年3月，doi: 10.1007/s10803-012-1615-8。[48] K. Bottema-Beutel、H. Park 和 S. Y. Kim，《关于自闭症谱系障碍人士社交技能训练课程的评论：社会互动、真实性与污名》，《自闭症与发育障碍杂志》，第48卷第3期，第953–964页，2018年3月，doi: 10.1007/s10803-017-3400-1。[49] J. A. Gates、E. Kang 和 M. D. Lerner，《针对自闭症谱系障碍青少年的团体社交技能干预的疗效：系统综述与荟萃分析》，《临床心理学评论》，第52卷，第164–181页，2017年3月，doi: 10.1016/j.cpr.2017.01.006。[50] D. Bolis、J. Balsters、N. Wenderoth、C. Becchio 和 L. Schilbach，《超越自闭症：提出辩证性失调假说与主体间性的贝叶斯解释》，精神病理学，第50卷第6期，第355–372页，2017年，doi: 10.1159/000484353。[51] R. Beaumont 和 K. Sofronoff，《针对阿斯伯格综合征儿童的多组成部分社交技能干预：少年侦探训练项目》，《儿童心理学与精神病学杂志》，第49卷第7期，第743–753页，2008年7月，doi: 10.1111/j.1469-7610.2008.01920.x。[52] N. Chaytor 和 M. Schmitter-Edgecombe，《神经心理学测试的生态效度：日常认知技能相关文献综述》，《神经心理学评论》，第13卷第4期，第181–197页，2003年12月，doi: 10.1023/B:NERV.0000009483.91468.fb。[53] P. Kourtesis、S. Collina、L. A. A. Doumas 和 S. E. MacPherson，《虚拟现实日常评估实验室（VR-EAL）的验证：一种生态效度增强的沉浸式虚拟现实神经心理测验组合》，《国际神经心理学会杂志》，第27卷第2期，第181–196页，2021年，doi: 10.1017/S1355617720000764。[54] P. Kourtesis、S. Collina、L. A. A. Doumas 和 S. E. MacPherson，《运用沉浸式虚拟现实对基于事件和时间的前瞻记忆进行生态效度检验：延迟和任务类型对日常前瞻记忆的影响》，记忆，第29卷第4期，第486–506页，2021年4月，doi: 10.1080/09658211.2021.1904996。[55] P. Kourtesis 和 S. E. MacPherson，《运用沉浸式虚拟现实对基于事件和时间的前瞻记忆进行生态效度检验：注意、记忆和执行功能过程对现实世界前瞻记忆的影响》，《神经心理康复》，第1–26页，2021年12月，doi: 10.1080/09602011.2021.2008983。[56] Y.-Y. Liao、I.-H. Chen、Y.-J. Lin、Y. Chen 和 W.-C. Hsu，《基于虚拟现实的身体与认知训练对伴有轻度认知障碍老年人执行功能和双任务步态表现的影响：一项

随机对照试验》，*Frontiers in Aging Neuroscience*，第 11，2019，[卷。]在线获取。网址：https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2019.00162[57] S. Arlati等，《一种用于老年人在家进行身体与认知训练的基于社交虚拟现实的应用》，*Sensors*，第19卷第2期，2019年，doi: 10.3390/s19020261。[58] L. Zając-Lamparska等，《基于虚拟现实的认知训练对独居及患有轻度痴呆老年人的影响：一项采用前测–后测设计的试点研究》，*BMC Research Notes*，第12卷第1期，第776页，2019年11月，doi: 10.1186/s13104-019-4810-2。[59] R. Bradley 和 N. Newbutt，《自闭症与虚拟现实头戴式显示器：最新系统综述》，*Journal of Enabling Technologies*，第12卷第3期，第101–113页，2018年1月，doi: 10.1108/JET-01-2018-0004。[60] P. Mesa-Gresa、H. Gil-Gómez、J.-A. Lozano-Quilis 和 J.-A. Gil-Gómez，《虚拟现实对自闭症谱系障碍儿童和青少年的有效性：循证系统综述》，*Sensors*，第18卷第8期，2018年，doi: 10.3390/s18082486。[61] N. Stewart Rosenfield、K. Lamkin、J. Re、K. Day、L. Boyd 和 E. Linstead，《一种用于自闭症儿童会话技能练习的虚拟现实系统》，*Multimodal Technologies and Interaction*，第3卷第2期，2019年，doi: 10.3390/mti3020028。[62] N. Glaser 和 M. Schmidt，《针对自闭症谱系障碍人士的虚拟现实干预设计模式系统文献综述》，*International Journal of Human–Computer Interaction*，第38卷第8期，第753–788页，2022年5月，doi: 10.1080/10447318.2021.1970433。[63] P. Kourtesis、S. Collina、L. A. A. Doumas 和 S. E. MacPherson，《技术能力是在人类神经科学中有效应用虚拟现实头戴式显示器的先决条件：技术综述与荟萃分析》，*Frontiers in Human Neuroscience*，第13卷，2019年，doi: 10.3389/fnhum.2019.00342。[64] P. Nolin等，《ClinicaVR: Classroom-CPT：一种用于评估儿童和青少年注意与抑制能力的虚拟现实工具》，*Computers in Human Behavior*，第59卷，第327–333页，2016年6月，doi: 10.1016/j.chb.2016.02.023。[65] N. Newbutt、C. Sung、H.-J. Kuo、M. J. Leahy、C.-C. Lin 和 B. Tong，《简要报告：一项关于在自闭症人群中使用虚拟现实头显的试点研究》，《自闭症与发育障碍杂志》，第46卷第9期，第3166–3176页，2016年9月，doi: 10.1007/s10803-016-2830-5。[66] P. Ghanouni、T. Jarus、J. G. Zwicker、J. Lucyshyn、K. Mow 和 A. Ledingham，《自闭症谱系障碍儿童的社交故事：虚拟现实程序内容的验证》，《自闭症与发育障碍杂志》，第49卷第2期，第660–668页，2019年2月，doi: 10.1007/s10803-018-3737-0。[67] J. F. Herrero 和 G. Lorenzo，《针对自闭症谱系障碍（ASD）人士、旨在发展沟通技能和问题解决能力的沉浸式虚拟现实教育干预》，*Education and InformationTechnologies*，第25卷第3期，第1689–1722页，2020年5月，doi: 10.1007/s10639-019-10050-0。[68] H. H. S. Ip等，《提升自闭症谱系障碍儿童情绪与社会适应技能：一种虚拟现实赋能的方法》，*Computers & Education*，第117卷，第1–15页，2018年2月，doi: 10.1016/j.compedu.2017.09.010。[69] F. Ke、J. Moon 和 Z. Sokolikj，《针对自闭症谱系障碍儿童的基于虚拟现实的社交技能训练》，*J Spec Educ Technol*，第37卷第1期，第49–62页，2022年3月，doi: 10.1177/0162643420945603。[70] S. N. V. Yuan 和 H. H. S. Ip，《利用虚拟现实训练自闭症谱系障碍儿童的情绪与社交技能》，*London Journal of Primary Care*，第10卷第4期，第110–112页，2018年7月，doi: 10.1080/17571472.2018.1483000。[71] P. Kourtesis、D. Korre、S. Collina、L. A. A. Doumas 和 S. E. MacPherson，《认知神经科学与神经心理学沉浸式虚拟现实软件开发指南：虚拟

现实日常评估实验室（VR-EAL），一套沉浸式虚拟现实神经心理测验组”，《计算机科学前沿》，第1卷，2020年，doi：10.3389/fcomp.2019.00012。[72] P. Kourtesis 和 S. E. MacPherson，“沉浸式虚拟现实方法如何满足美国国家神经心理学会和美国临床神经心理学会的标准：虚拟现实日常评估实验室（VR-EAL）的软件评述”，《人类行为中的计算机报告》，第4卷，文章编号100151，2021年，doi：https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100151。[73] C. A. Gray 和 J. D. Garand，“社交故事：通过准确的社会信息改善自闭症学生的反应”，《自闭症行为聚焦》，第8卷，第1期，第1–10页，1993年4月，doi：10.1177/108835769300800101。[74] R. Samuels 和 J. Stansfield，“社交故事™ 对促进具有自闭症谱系障碍特征的成年人社会互动的有效性”，《英国学习障碍杂志》，第40卷，第4期，第272–285页，2012年12月，doi：10.1111/j.1468-3156.2011.00706.x。[75] A. Bakroon 和 V. Lakshminarayanan，“自闭症谱系障碍中的视觉功能：批判性综述”，《临床与实验验光学》，第99卷，第4期，第297–308页，2016年7月，doi：10.1111/cxo.12383。[76] G. Joshi 等，“临床转诊的自闭症谱系障碍成年人人群中的精神共病与功能：一项比较研究”，《自闭症与发育障碍杂志》，第43卷，第6期，第1314–1325页，2013年6月，doi：10.1007/s10803-012-1679-5。[77] L. Rösler、S. Göhring、M. Strunz 和 M. Gamer，“社交焦虑与心率相关，但与真实社会互动中的注视行为无关”，《行为疗法与实验精神病学杂志》，第70卷，文章编号101600，2021年3月，doi：10.1016/j.jbtep.2020.101600。[78] A. Senju 和 M. H. Johnson，“自闭症中的非典型目光接触：模型、机制与发育”，神经科学与生物行为评论，第33卷，第8期，第1204–1214页，2009年9月，doi：10.1016/j.neubiorev.2009.06.001。[79] E. G. Fernández-Abascal、R. Cabello、P. Fernández-Berrocal 和 S. Baron-Cohen，“‘从眼睛读懂心思’测验的重测信度：一年随访研究”，《分子自闭症》，第4卷，第1期，文章编号33，2013年9月，doi：10.1186/2040-2392-4-33。[80] M. Vellante 等，“‘从眼睛读懂心思’测验：心理测量学特性的系统综述及意大利验证研究”，《认知神经精神病学》，第18卷，第4期，第326–354页，2013年7月，doi：10.1080/13546805.2012.721728。[81] T. Shallice、D. E. Broadbent 和 L. Weiskrantz，“计划能力的特定损伤”，《伦敦皇家学会哲学汇刊*B*辑：生物科学》，第298卷，第1089期，第199–209页，1997年1月，doi：10.1098/rstb.1982.0082。[82] Y.-K. Chang、C.-L. Tsai、T.-M. Hung、E. C. So、F.-T. Chen 和 J. L. Etnier，“急性运动对执行功能的影响：一项采用伦敦塔任务的研究”，《运动与锻炼心理学杂志》，第33卷，第6期，第847–865页，2011年12月，doi：10.1123/jsep.33.6.847。[83] L. Köstering、K. Nitschke、F. K. Schumacher、C. Weiller 和 C. P. Kaller，“伦敦塔计划任务（TOL-F）的重测信度”，《心理评估》，第27卷，第925–931页，2015年，doi：10.1037/pas0000097。[84] D. Wechsler，《韦氏成人智力量表第三版手册》。心理公司，1997年。[85] D. J. Siegel、N. J. Minshew 和 G. Goldstein，“韦氏智商剖面在高功能自闭症诊断中的应用”，《自闭症与发育障碍杂志》，第26卷，第4期，第389–406页，1996年8月，doi：10.1007/BF02172825。[86] J. R. Stroop，“系列言语反应中的干扰研究”，《实验心理学杂志》，第18卷，第6期，第643页，1935年，doi：10.1037/h0054651。[87] G. P. Strauss、D. N. Allen、M. L. Jorgensen 和 S. L. Cramer，“标准斯特鲁普任务和情绪斯特鲁普任务的重测信度：对颜色-词和图片-词版本的调查”，《评估》，第12卷，第3期，第330–337页，2005年9月，doi：10.1177/1073191105276375。

[88] S. P. Smith 和 S. Du’Mont，“游戏经验对虚拟环境导航任务的影响测量”，载于2009年IEEE三维用户界面研讨会，2009年3月，第3–10页。doi：10.1109/3DUI.2009.4811198。[89] S. P. Hirani 等，“远程医疗相关信念的量化：全系统示范项目服务用户技术接受度问卷的开发”，《远程医疗与远程护理杂志》，第23卷，第4期，第460–469页，2017年，doi：10.1177/1357633X16649531。[90] M. Schrepp、A. Hinderks 和 J. Thomaschewski，“用户体验问卷（UEQ-S）简版的设计与评估”，《国际交互式多媒体与人工智能杂志》，第4卷（6），103–108页，2017年，doi：10.9781/ijimai.2017.445。[91] J. Brooke，“SUS：回顾”，《可用性研究杂志》，第8卷，第2期，第29–40页，2013年2月。[92] A. Bangor、P. Kortum 和 J. Miller，“确定个体SUS得分的含义：增加形容词评分量表”，《可用性研究杂志》，第4卷，第3期，第114–123页，2009年5月。[93] P. Kourtesis、S. Collina、L. A. A. Doumas 和 S. E. MacPherson，“虚拟现实神经科学问卷的验证：无相关不良症状情况下沉浸式虚拟现实体验的最长时长”，Frontiers in Human Neuroscience，第13卷，2019年，doi：10.3389/fnhum.2019.00417。[94] P. Kourtesis、J. Linnell、R. Amir、F. Argelaguet 和 S. E. MacPherson，“虚拟现实晕动症问卷（CSQ-VR）：验证及与模拟器晕动症问卷和虚拟现实晕动症问卷的比较”，《虚拟世界》，第2卷，第1期，第16–35页，2023年，doi：10.3390/virtualworlds2010002。[95] A. Pehlivanidis 等，“新诊断为注意缺陷多动障碍（ADHD）和/或自闭症谱系障碍（ASD）的成年人的终生共病精神障碍”，《BMC精神病学》，第20卷，第1期，文章编号423，2020年8月，doi：10.1186/s12888-020-02828-1。[96] A. Papaioannou 等，“在创新推理实验中，面对认知负荷的ASD和ADHD受试者的表现差异”，《脑科学》，第11卷，第11期，2021年，doi：10.3390/brainsci11111531。[97] V. Mantas、A. Pehlivanidis、K. Papanikolaou、V. Kotoula 和 C. Papageorgiou，“自闭症中的战略决策与预测差异”，PeerJ，第10卷，文章编号e13328，2022年，doi：10.7717/peerj.13328。[98] R 核心团队，R：用于统计计算的语言和环境。奥地利维也纳：R 统计计算基金会，2022年。[在线]。可访问：https://www.R-project.org/[99] RStudio 团队，RStudio：R 的集成开发环境。马萨诸塞州波士顿：RStudio, PBC，2022年。[在线]。可访问：http://www.rstudio.com/[100] R. A. Peterson 和 J. E. Cavanaugh，“有序分位数标准化：为交叉验证时代构建的半参数变换”，《应用统计学杂志》，第47卷，第13–15期，第2312–2327页，2020年，doi：10.1080/02664763.2019.1630372。[101] W. Revelle，psych：心理学、心理测量学和人格研究程序。伊利诺伊州埃文斯顿：西北大学，2022年。[在线]。可访问：https://CRAN.R-project.org/package=psych[102] H. Wickham，ggplot2：数据分析的优雅图形。施普林格纽约出版社，2016年。[在线]。可访问：https://ggplot2.tidyverse.org[103] A. Torbjørnsen、M. C. Småstuen、A. K. Jenum、E. Årsand 和 L. Ribu，“服务使用者技术接受度问卷：挪威语版本的心理测量学评估”，JMIR Hum Factors，第5卷，第4期，文章编号e10255，2018年12月，doi：10.2196/10255。[104] M. Schrepp、A. Hinderks 和 J. Thomaschewski，“用户体验问卷（UEQ）基准的构建”，《国际交互式多媒体与人工智能杂志》，第4卷，第40–44页，2017年6月，doi：10.9781/ijimai.2017.445。

[105] A. H. Jacquerie[关于治疗性参与和医疗康复中参与度的拟议模型，”《美国物理医学与康复杂志》，第89卷，第5, 2010, [期]在线]。可访问：https://jour- nals.lww.com/ajpmr/Fulltext/2010/05000/Therapeutic_Engagement__A_Proposed_Model_of.10.aspx[106] J. B. Leaf、J. H. Cihon、J. L. Ferguson、C. M. Milne、R. Leaf 和 J. McEachin，“比较错误纠正与无错误学习：一项随机临床试验”，《言语行为分析》，第36卷，第1期，第1–20页，2020年6月，doi：10.1007/s40616-019-00124-y。[107] T. Packiam. Alloway、S. Elizabeth. Gathercole、A.-Marie. Adams、Catherine. Willis、Rachel. Eaglen 和 Emily. Lamont，“工作记忆与语音意识对入学时早期学习目标进展的预测作用”，《英国发展心理学杂志》，第23卷，第3期，第417–426页，2005年9月，doi：10.1348/026151005X26804。[108] S. E. Gathercole、S. J. Pickering、C. Knight 和 Z. Stegmann，“工作记忆技能与教育成就：来自7岁和14岁国家课程评估的证据”，《应用认知心理学》，第18卷，第1期，第1–16页，2004年1月，doi：10.1002/acp.934。[109] N. Unsworth 和 R. W. Engle，“论短时记忆与工作记忆的划分：考察简单广度和复杂广度及其与高阶能力的关系”，《心理学通报》，第133卷，第1038–1066页，2007年，doi：10.1037/0033-2909.133.6.1038。[110] B. Carretti、E. Borella、C. Cornoldi 和 R. De Beni，“工作记忆在解释特定阅读理解困难个体表现中的作用：一项荟萃分析”，《学习与个体差异》，第19卷，第2期，第246–251页，2009年6月，doi：10.1016/j.lindif.2008.10.002。[111] P. Peng、J. Namkung、M. Barnes 和 C. Sun，“数学与工作记忆的荟萃分析：工作记忆领域、数学技能类型和样本特征的调节效应”，《教育心理学杂志》，第108卷，第455–473页，2016年，doi：10.1037/edu0000079。[112] P. Peng 等，“阅读与工作记忆关系的荟萃分析”，《心理学通报》，第144卷，第48–76页，2018年，doi：10.1037/bul0000124。[113] C. Shawn Green、M. A. Sugarman、K. Medford、E. Klobusicky 和 D. Bavelier，“动作电子游戏经验对任务切换的影响”，*Computers in Human Behavior*，第28卷，第3期，第984–994页，2012年5月，doi：10.1016/j.chb.2011.12.020。[114] C. S. Green、A. Pouget 和 D. Bavelier，“动作电子游戏通过改善概率推理，发挥一般学习机制的作用”，《当代生物学》，第20卷，第17期，第1573–1579页，2010年9月，doi：10.1016/j.cub.2010.07.040。[115] L. Stockdale、R. G. Morrison、R. Palumbo、J. Garbarino 和 R. L. Silton，“冷静、冷酷且自控：频繁玩含暴力内容电子游戏者具有更强的抑制控制能力”，《社会认知与情感神经科学》，第12卷，第12期，第1869–1880页，2017年12月，doi：10.1093/scan/nsx115。[116] O. Golan 和 S. Baron-Cohen，“系统化共情：利用交互式多媒体教导患有阿斯伯格综合征或高功能自闭症的成年人识别复杂情绪”，《发展与精神病理学》，第18卷，第2期，第591–617页，2006年，doi：10.1017/S0954579406060305。[117] M. V. Lombardo、J. L. Barnes、S. J. Wheelwright 和 S. Baron-Cohen，“自闭症中的自我参照认知与共情”，《公共科学图书馆·综合》，第2卷，第9期，文章编号e883，2007年9月，doi：10.1371/journal.pone.0000883。[118] M. Losh 等，“自闭症与广泛自闭症表型的神经心理学特征”，《普通精神病学档案》，第66卷，第5期，第518–526页，2009年5月，doi：10.1001/archgenpsychiatry.2009.34。[119] P. Gollwitzer，“执行意向：简单计划的强大效果”，《美国心理学家》，第54卷，第493–503页，1999年7月，doi：10.1037/0003-066X.54.7.493。

[120] R. Morris 和 G. Ward，计划的认知心理学。Psychology Press，2004年。 [在线]。可访问：https://doi.org/10.4324/9780203493564[121] A. M. Schonfeld、B. Paley、F. Frankel 和 M. J. O’Connor，“执行功能可预测产前酒精暴露后的社交技能”，《儿童神经心理学》，第12卷，第6期，第439–452页，2006年12月，doi：10.1080/09297040600611338。[122] K. Kiley-Brabeck 和 C. Sobin，“22q11缺失综合征儿童的社交技能与执行功能缺陷”，应用神经心理学，第13卷，第4期，第258–268页，2006年12月，doi：10.1207/s15324826an1304_7。[123] J. Sinzig、D. Morsch、N. Bruning、M. H. Schmidt 和 G. Lehmkuhl，“自闭症谱系障碍伴或不伴共病ADHD症状者的抑制、灵活性、工作记忆与计划能力”，儿童与青少年精神病学和心理健康，第2卷，第1期，文章编号4，2008年1月，doi：10.1186/1753-2000-2-4。[124] L. M. E. Olde Dubbelink 和 H. M. Geurts，“自闭症谱系障碍患者整个生命周期中的计划技能：荟萃分析与荟萃回归”，《自闭症与发育障碍杂志》，第47卷，第4期，第1148–1165页，2017年4月，doi：10.1007/s10803-016-3013-0。[125] S. Kercood、J. A. Grskovic、D. Banda 和 J. Begeske，“工作记忆与自闭症：文献综述”，自闭症谱系障碍研究，第8卷，第10期，第1316–1332页，2014年10月，doi：10.1016/j.rasd.2014.06.011。[126] M. Brüne，“慢性紊乱型精神分裂症中的心理理论与智商作用”，精神分裂症研究，第60卷，第1期，第57–64页，2003年3月，doi：10.1016/S0920-9964(02)00162-7。[127] A. Baddeley、S. Della Sala、C. Papagno 和 H. Spinnler，“额叶病变患者（执行功能障碍与无执行功能障碍）的双任务表现”，神经心理学，第11卷，第187–194页，1997年，doi：10.1037/0894-4105.11.2.187。[128] Y. Tang、P. L. Harris、H. Zou、J. Wang 和 Z. Zhang，“学龄前儿童情绪理解与社交技能之间的关系：言语能力的中介作用和工作记忆的调节作用”，《欧洲发展心理学杂志》，第18卷，第4期，第593–609页，2021年7月，doi：10.1080/17405629.2020.1854217。[129] L. Kenny、S. J. Cribb 和 E. Pellicano，“儿童期执行功能可预测年轻自闭症人士日后出现自闭症特征及适应行为：为期12年的前瞻性研究”，异常儿童心理学杂志，第47卷，第6期，第1089–1099页，2019年6月，doi：10.1007/s10802-018-0493-8。[130] L. Van Eylen、B. Boets、J. Steyaert、J. Wagemans 和 I. Noens，“自闭症谱系障碍中的执行功能：任务和样本特征的影响及其与症状严重程度的关系”，《欧洲儿童与青少年精神病学》，第24卷，第11期，第1399–1417页，2015年11月，doi：10.1007/s00787-015-0689-1。[131] L. Kjellmer、Å. Hedvall、E. Fernell、C. Gillberg 和 F. Norrelgen，“自闭症谱系障碍学龄前儿童的语言与沟通技能：认知、自闭症症状严重程度和适应功能对个体差异的影响”，发育障碍研究，第33卷，第1期，第172–180页，2012年1月，doi：10.1016/j.ridd.2011.09.003。[132] S. Williams White、K. Keonig 和 L. Scahill，“自闭症谱系障碍儿童的社交技能发展：干预研究综述”，《自闭症与发育障碍杂志》，第37卷，第10期，第1858–1868页，2007年11月，doi：10.1007/s10803-006-0320-x。[133] A. S. Carter、N. O. Davis、A. Klin 和 F. R. Volkmar，“自闭症中的社会发展”，《自闭症与广泛性发育障碍手册：诊断、发育、神经生物学与行为》第*1*卷，第*3*版，第312–334页，2005年。[134] C. Hilton、K. Graver 和 P. LaVesser，“高功能自闭症谱系障碍儿童的社交能力与感觉加工之间的关系”，自闭症谱系障碍研究，第1卷，第2期，第164–173页，2007年4月，doi：10.1016/j.rasd.2006.10.002。

[135] R. Luyster、K. Lopez 和 C. Lord，《使用麦克阿瑟-贝茨沟通发展量表（沟通发展量表）描述因自闭症谱系障碍而转诊儿童的沟通发育》，《儿童语言杂志》，第 34 卷第 3 期，第 623–654 页，2007年，doi: 10.1017/S0305000907008094。[136] E. Waizbard-Bartov 等，《幼儿期自闭症症状严重程度变化的轨迹》，《自闭症与发育障碍杂志》，第 51 卷第 1 期，第 227–242 页，2021年 1 月，doi: 10.1007/s10803-020-04526-z。

免责声明/出版者说明：所有出版物中所含的陈述、观点和数据均仅代表各作者及贡献者个人的意见，不代表 MDPI 和/或编辑的意见。对于因内容中提及的任何观点、方法、说明或产品而导致的人员伤害或财产损失，MDPI 和/或编辑不承担责任。