

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：社交机器人在孤独症谱系障碍儿童中的应用

作者：高丽梅 汪凯 李丹丹

第一轮

审稿人 1 意见：

本文探讨的是一个很有趣的孤独症干预研究的话题，“社交机器人在孤独症谱系障碍儿童中的应用”，主题新颖，但全文的表述还需要大修，才能达到论文被接受的质量。

意见 1：请参考全文的审稿意见标注，逐处进行修改。

回应：非常感谢专家对于全文详细的意见标注，文章意见对全文标注处进行了修改。由于部分修改内容与后面重复，在此只介绍不重复的问题（见正文 2.1，第 13 页，见第 3 部分，第 18 页；见 4.4，第 21 页）

（1）在“2.1 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童干预中的分类”中的图 1，纵轴自由度参考综述(Kumazaki et al., 2020)

（2）“3 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童发展领域干预中的贡献”改为“3 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童社交互动研究中的现状”

（3）专家在文中指出“购买社交机器人的费用是很贵的，对于普通孤独症家庭，这也是一个成本问题，会影响社交机器人在真实世界应用的可行性。”问题，我们在第 4 部分增加了“4.4 实验方法的局限性”提出了成本问题，并尝试给出了如下解决方案：另一方面，考虑到成本、可访问性、可维护性、培训、适应性、安全性和环境问题，机器人干预仍不能在临床环境中长期使用。这些问题需要多个学科的共同发展促进解决，技术层面的提升可能会降低成本，机器人的统一量产也会使得成本降低。长期来看，尽管初始成本较高，但是盈亏平衡的发生相对较快，社交机器人在独立或辅助干预 ASD 儿童核心症状上仍有发展潜力。”

意见 2：本文多处专业术语有误，反应了作者写作的态度或对于孤独症干预研究领域刚刚起

步，还没入门？导师对一作的论文认真修改后，应该不会出现此类问题。情感认知——文中的内容是在阐述情绪共情和认

知共情，可以用共情来概括，而不是概括表达为情感认知。早期密集干预——早期密集行为干预（Early

Intervention Behaviour Intervention）、模仿行为（文中也用运动模仿）——动作模仿（Motor Imitation）

回应：感谢专家对本文的专业术语进行纠正，我们做出了相应修改：（正文第 3 部分小标题 3.4 共情能力，第 19 页；3.5 动作模仿，第 19 页；5.1 第 3~4 句话早期密集行为行为干预，第 21 页）。

- （1）“情感认知”改为“3.4 共情能力、情绪和认知层面、情绪共情层面、认知共情层面”
- （2）“模仿行为”改为“3.5 动作模仿”
- （3）“早期密集干预”改为“早期密集行为干预”

意见 3：摘要的表述，需要重写，逻辑不够自洽。空话较多，没有具体说明本综述想去探索解决的问题，以及通过综述现状，得到了哪些启示？

回应：感谢专家提出本文行文逻辑上的意见，本文对摘进行了重新表述。（见摘要，第 12 页；问题及启示见第 4、5 部分，第 18-22 页）。

（1）摘要 孤独症谱系障碍 (Autistic Spectrum Disorders, ASD) 儿童的核心症状之一是社交互动障碍，早期干预对其适应社会生活至关重要。传统心理康复方法有其局限性，随着人工智能技术的发展，社交机器人被广泛用于 ASD 儿童社交发展领域的治疗并显现出独特优势。文章梳理了社交机器人在 ASD 儿童应用中的分类、理论基础以及 ASD 儿童对社交机器人的偏好和影响因素，探讨了社交机器人在 ASD 儿童社交互动研究中的现状，分析了社交机器人在 ASD 儿童干预中实验环境、方法等方面存在的优势与挑战，未来研究应探究人机交互双方特点，开发新的社交场景；结合多模态和脑科学技术，揭示人机互动的心理过程；关注人工智能技术发展，构建社交机器人闭环系统等方面开展。

（2）问题及启示：本文第 4 部分指出社交机器人干预 ASD 儿童存在实验环境中人员干扰、被试流失、技能泛化等问题以及实验方法存在社交机器人影响无法单独测量、成本以及技术层面的局限性，针对这些问题我们在第 5 部分提出了解决方案：进一步探究人机交互双方特点，开发新的社交场景；结合多模态和脑科学技术，揭示人机互动的心理过程；关注人工智能技术迭代，构建社交机器人闭环系统等方面

意见 4: 论文中“2 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童干预中的应用”需要大改: 因为 2.1~2.4 的子主题, 从逻辑联系上并不清晰, 从内容上, 并不匹配“2 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童干预中的应用”要探索的主题。内容侧重点, 面向的不太适合心理学科同行? 更适合计算机科学的读者?

回应: 非常感谢专家提出内容侧重点的意见, 我们对本文之前 2.1-2.4 的子主题进行了删改 (见 2.1 的表 1, 第 13 页; 2.2, 第 16 页; 2.3 第二段, 第 16 页; 2.4, 第 17 页)。

(1) 在 2.1 的表格 1 中增加了社交机器人干预中的心理学分类和社交机器人应用的简单介绍

(2) 删去了“2.2 社交机器人在孤独症儿童干预中的系统类型”内容, 新增了“2.2 社交机器人在孤独症儿童干预中的理论基础。”

(3) 删去了“2.3 社交机器人在孤独症儿童干预中的数据处理算法与模型”, 将“2.4 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人的偏好”调整为“2.3 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人的偏好”并增加了社交机器人的恐怖悬崖效应, 进一步阐述了 ASD 儿童对社交机器人的外观认知

(4) 拆分了原来“2.3”的内容, 新增加“2.4 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人偏好的影响因素”。

意见 5: 论文中第 4~5 部分, 应提出作者原创性的思考和发现, 但一些根本的关键问题, 并没有回答。“应用社交机器人对孤独症儿童进行社交训练, 是否会存在一个劣势: 导致孤独症儿童越来越喜欢和倾向于同机器交流, 而不是人交流? 是否会进一步减少, 孤独症儿童和人的社交互动机会? 从长期来看, 是否不利于孤独症儿童在真实生存情境下, 社交技能的提升?” 如何辩证分析, 解决上述问题? 现有研究一定对以上问题进行过探索, 并尝试解决方案, 作者是否有更好的想法, 全文未提及。

回应: 感谢专家提出的问题, 这些同样也是本文需要进一步探讨的问题。针对问题, 我们做出了如下修改 (见 4.3 倒数第 1-4 行, 第 21 页; 4.4, 第 21 页; 5.1, 第 21 页)

(1) 在第 4 部分的“4.3 实验环境带来的挑战”增加了“ASD 儿童在实验中学到的技能如何在真实环境中泛化, 社交机器人应用于 ASD 儿童长期干预是否会产生新的刻板行为, 孤独症儿童是否会越来越喜欢和倾向于同机器交流从而减少与人的社交互动机会, 这些问题都需要进一步实证研究进行探索。”

(2) 新增了“4.4 实验方法局限性”，主要阐述了社交机器人干预目前存在的技术、陈本、测量等方面存在的问题。

(3) 第 5 部分展望的“5.1 进一步探究人机交互双方特点，开发新的社交场景”给出了可能的解决方案，我们希望进一步研究从人机互动双方特点，找到更多的影响因素进行进行分析和控制，同时开发新的社交场景促进社交技能的泛化。

.....

审稿人 2 意见：

意见 1：在研究内容上，该论文研究的科学问题过于宽泛，没有聚焦社交机器人影响孤独症儿童的哪一或几个方面的心理特征和心理过程的研究成果综述，用了较大的篇幅内容探讨了社交机器人本身构造和技术开发，这个不属于心理学研究范畴，比如文章的 2.1、2.2 和 2.3；

回应：感谢专家提出本文研究内容上的偏颇。本文做出了如下修改：**(见第 2 部分，第 13-17 页；见第 3 部分，第 18-19 页)**

(1) 本文聚焦“3 社交机器人对孤独症儿童的社会互动方面的现状”进行阐述，涵盖了“3.1-3.5 联合注意、自我启动、语言与非语言沟通、共情能力、动作模仿”五个方面，归纳梳理了社交机器人对 ASD 儿童核心症状之一社交互动的干预的实证性研究。

(2) 我们对本文之前 2.1-2.4 的子主题进行了删改，在第 4 部分的“4.3 实验环境带来的挑战”增加了“ASD 儿童在实验中学到的技能如何在真实环境中泛化，社交机器人应用于 ASD 儿童长期干预是否会产生新的刻板行为，孤独症儿童是否会越来越喜欢和倾向于同机器交流从而减少与人的社交互动机会，这些问题都需要进一步实证研究进行探索。”；新增了“4.4 实验方法局限性”，主要阐述了社交机器人干预目前存在的技术、陈本、测量等方面存在的问题。

意见 2：文章的第 3 部分的研究内容，对于孤独症儿童的障碍分析及其应用存在混乱的状态，模仿能力其实是社交能力的一部分，建议从社会交往、生活自理、重复刻板等几个方面展开，或者聚焦社会交往一个方面，而且这一部分仅仅从应用角度进行了探讨，没有从人机互动的心理过程展开分析。

回应：感谢专家对本文第 3 部分提出宝贵的修改意见。本文做出了如下修改**(详见第 3 部分，第 18-19 页；；见 4.4，第 21 页；见 5.2，第 22 页)**。

(1) 本文修改后主要围绕社交机器人对孤独症儿童社会交往干预方面进行总结，并分了 3.1-3.5 共 5 个小标题进行详细阐述

(2) 在“4.4 实验方法的局限性”增加了“实验多采用音频、视频编码、活动表现、皮肤电等技术，较少使用功能性磁共振成像(FMRI)、事件相关电位(ERP)等脑科学设备，因此也缺乏神经机制层面的探讨，没有揭示人机互动的心理过程”

(3) 针对人机互动的心理过程，我们在第 5 部分“5.2 结合多模态和脑科学技术，揭示人机互动的心理过程”提出了解决方案：在技术搭载层面，社交机器人可以结合多模态数据识别和脑科学技术，揭示人机互动的心理过程以及神经机制。多模态数据识别包括视觉信息、听觉信息、语音、语义、语用、心率等多种数据，能够很好地反应人机互动行为背后的心理变化。社交机器人干预过程可通过功能性近红外光谱技术(FNIRS)、FMRI、ERP 等脑科学技术实时采集数据，进一步揭示人机互动的神经机制。

意见 3: 在研究方法上，文献综述研究方法最好选用文献计量学和内容分析法，对文献中属性及其之间关系做定量的分析，对文献研究中研究内容做内容分析，对研究的属性做定量的分析，从数量和内容两个方面总结该科学问题领域中的规律和趋势，为后续研究提供借鉴和指导。

回应: 感谢专家对本文的研究方法和研究内容方面提出的意见。本文实证性研究 60 篇，综述 9 篇，其中集中在社交机器人对 ASD 儿童社交技能干预的文献共有 41 篇，考虑到文章篇幅以及本文研究的重点，没有在正文中列表呈现。我们重点对文章的研究内容和行为逻辑进行了重新梳理，首先，本文主要从第 2 部分社交机器人的分类、理论基础、ASD 儿童对社交机器人的偏好及影响因素等方面对社交机器人在 ASD 儿童干预中的应用进行详细阐述。其次，本文从第 3 部分社交机器人对 ASD 儿童的社交能力干预方向进行归纳梳理，为社交机器人干预提供了借鉴的方向。接着，本文对社交机器人干预存在的挑战和优势进行分析，最后提出了三个方向的解决方案，为后续社交机器人干预 ASD 儿童核心障碍提供了研究思路。

.....

审稿人 3 意见:

意见 1: 机器人对孤独症儿童的社交技能的促进是否能迁移到与真人互动场景，如对 JA 的促进作用是否能促进对真人 JA 的理解。

回应：感谢专家的提出的问题，我们针对上述问题对本文进行如下补充：（见 3.1，第 18 页；见 4.3 倒数 1-4 行，第 21 页；见 5.1 第 6-10 行，第 21 页）

（1）我们针对这一问题在第 3 部分“3.1 联合注意”部分增加了“ASD 儿童在机器人干预后，再与人类互动的 JA 任务表现出改善。国内研究发现在 ASD 儿童掌握 JA 目标技能之后，撤去 Nao 机器人，JA 技能也有一定的维持效果。在长期使用 Jibo 机器人对 ASD 儿童进家庭干预的研究中表明干预后 ASD 儿童的 JA 得到改善（提示减少），社交沟通能力得到提升”，表明 JA 促进作用能促进对真人 JA 的理解。

（2）由于没有实证性研究证明 ASD 儿童在习得 JA 技能后可以在真人互动场景中泛化，我们在第 4 部分“4.3 实验环境带来的挑战”中提出了这一局限性：ASD 儿童在实验中学习到的技能如何在真实环境中泛化，社交机器人应用于 ASD 儿童长期干预是否会产生新的刻板行为，孤独症儿童是否会越来越喜欢和倾向于同机器交流从而减少与人的社交互动机会，这些问题都需要进一步实证研究进行探索。

（3）针对上述局限性，我们在第 5 部分“5.1 进一步探究人机交互双方特点，开发新的社交场景”给出了解决方案，希望能够通过一般性和个性化机器人以及多场景干预达到训练技能的维持与泛化。

意见 2：太仿真的机器人，如面部与人非常接近的，是否会引起恐怖谷效应，从而造成反效果。

回应：感谢专家提出的问题。我们查阅了相关文献在“2.3 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人的偏好”中的第二段提出 ASD 儿童可能并不存在恐怖谷效应，面对与人相似的机器人，他们可能会觉得更舒服，更有可能改善情绪反应：（见第二部分 2.3 第二段，第 16 页）

机器人的外形越接近真实人的形象是否会引起恐怖谷效应？在 1970 年，日本机器人专家森政弘提出恐怖谷效应，即当机器人与人类的相似程度上升到一个特定程度的时候，人类对他们的反应便会突然变得极其负面和反感。这一理论在猴子(Steckenfinger & Ghazanfar, 2009)以及人类婴儿(Lewkowicz & Ghazanfar, 2012; Matsuda et al., 2012)的实验者得到验证，一项功能磁共振成像研究报告也验证了人类大脑中存在与神秘谷相关的激活(Leekam et al., 2011)。有研究者提出，ASD 患者可能并不存在恐怖谷效应而是具有恐怖悬崖(uncanny cliff, 见图 2)，如果机器人外形接近真实的人，ASD 患者可能会觉得更舒服，并可能改善情绪反应，因此，使用仿人机器人辅助治疗 ASD 患者的社交互动可能具有潜在优势(Ueyama, 2015)。

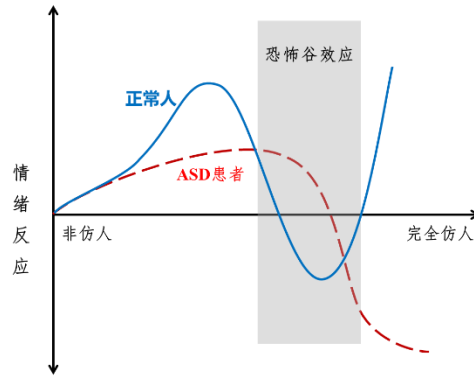


图 2 恐怖谷效应与恐怖悬崖(Ueyama, 2015)

意见 3: 社交机器人是否能促进儿童学习知识或者语言，从而作为特殊儿童教育的一个补充。

回应: 感谢专家提出的问题。根据目前实证性研究，我们进行如下补充：（见 3.3，第 19 页；5.1 第 5-6 行，第 21 页）。

（1）在第 3 部分“3.3 语言和非语言沟通”增加了社交机器人在社交语言学习的内容：研究发现，ASD 儿童与机器人的语言显著多于成人产生的语言。

（2）关于社交机器人干预 ASD 儿童语言学习的相关研究较少，原因可能是因为社交机器人对 ASD 儿童的干预年龄段集中在学龄前左右，尚未涉及知识语言的学习。我们在第 5 部分“5.1 进一步探究人机交互双方特点，开发新的社交场景”提出了在文中提出了这一问题，并给出了解决方案：未来研究可以从语言知识学习、生活技能等方面开展训练。

意见 4: 使用机器人干预孤独症的一个挑战是，儿童是否会因为对机器人以及与其互动模式的偏好，从而更加回避真人社交场景。

回应: 非常感谢专家提出的问题。我们在第 4 部分“4.3 实验环境带来的挑战”中提出了“ASD 儿童是否会越来越喜欢和倾向于同机器交流，进一步减少与人的社交互动机会的挑战”等问题，在第 5 部分“5.1-5.2”提出了解决方案：选择合适的干预时长、注重技能的泛化以及结合多种机器人表现形式进行干预等等，具体方案如下：（见 4.3 小节倒数第二行，第 21 页；见 5.1，第 21 页）

尽管 ASD 儿童对社交机器人具有一定的视觉偏好，但是目前研究中使用的机器人类型较多，缺乏统一标准。首先，社交机器人的外形、运动、自我表露以及干预时长等方面会对社交技能训练产生影响，研究表明，早期密集行为干预每周 25 小时较为有效(Mottron, 2017)，然而很少有研究对社交机器人的干预时长进行探究。其次，ASD 儿童的性别、年龄、症状严

重程度也会对社交机器人产生影响。此外，目前的研究较少涉及语言知识学习、生活技能等方面的训练。未来研究中，可研发提供 ASD 儿童使用的一般性机器人类型，并融入多种互动方式。在机器人表现层面，社交机器人可以通过舞蹈、音乐、瑜伽、游戏等方式调动 ASD 儿童多种感官系统，提高其学习的积极性和主动性；在机器人设计层面，一般性机器人可在多种场合对 ASD 儿童的核心症状进行干预，个性化的机器人可以针对 ASD 儿童的特异性行为进行针对性的训练，根据一般性和个性化机器人设计不同的使用场景，达到训练技能的维持与泛化。

意见 5: 近期人工智能的飞速发展是否能给机器人干预发育障碍和精神疾病带来更多契机？

回应: 感谢专家提供的新的技术启发。我们在第 5 部分“5.3 关注人工智能技术迭代，构建社交机器人闭环系统”部分讨论了人工智能技术对社交机器人的重要性，并且可以通过结合人工智能的算法和硬件来提升社交机器人的干预效果，这为未来社交机器人干预提供了更多技术选择：（见 5.3，第 22 页）。

虽然机器学习、监督学习等人工智能技术已被应用于自适应机器人系统，但机器人在主动学习方面仍存在不足，无法根据环境变化进行实时交互。有研究表明，虚拟现实 (Virtual Reality, VR)、混合现实 (Mixed Reality, XR)、扩展现实 (Mixed Reality, MR) 等人工智能技术在可能会改善 ASD 儿童的认知能力，比如注意力、记忆、执行功能等等，但由于 ASD 儿童对眼睛的不耐受性，实验往往只能选择高功能儿童，且被试量小 (Chen et al., 2022; Shahmoradi & Rezayi, 2022; Wass & Porayska-Pomsta, 2014)。闭环系统也称自适应机器人系统，指机器人不仅能够自主反应，而且能够根据环境实时调整其行为的自主系统。社交机器人可结合现代新型人工智能技术（例如计算机、电脑平板等）构建闭环人机交互系统，实现长期连贯的互动内容。此外，人工智能的算法革新也十分重要，社交机器人目前使用的个性化算法过于简单而且缺乏一种自适应模型，无法对需求和偏好进行优先排序和个性化，难以最大限度地发挥机器人辅助干预的潜力。综上所述，人工智能技术在测量和干预 ASD 儿童在干预中的表现有很好的应用前景。

第二轮

审稿人 2 意见: 作者很好地回答了问题，建议发表

审稿人 3 意见：目前孤独症还是一个“不治之症”，因此本文探讨可能的干预方案是非常有意义的。但是本文最大的问题是逻辑混乱（包括整体上的布局以及局部段落内以及句与句之间的逻辑混乱），限制了这篇文章的价值。作者需要花大量时间去重新理清全文的逻辑。在整体逻辑上，存在段一段、内容与内容之间的割裂感。像是拼凑不同的内容，但没有对这些内容进行连接。在局部逻辑上，也出现了许多逻辑以及言语不清的问题。以下只是举部分例子：

意见 1：为什么要介绍社交机器人的分类、对某些机器人的偏好，它们与本文主题机器人对 ASD 的干预又什么关联呢？作者需要点明这些内容的关联性。

回应：非常感谢专家指出本文在内容关联性上的问题。我们在第 2 部分主标题“2 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童干预中的应用中”下方补充了社交机器人的分类、ASD 儿童对社交机器人的偏好及其影响因素对于社交机器人干预有效性的重要意义（见第 2 部分，第 22-23 页）。补充内容如下：

社交机器人是机器人通过社交互动帮助人们提高社交能力的一种工具，它是人机交互、社交机器人学、社会机器人学以及服务机器人学的一个领域，重点是开发实现机器人与用户的有效交互(Alabdulkareem et al., 2022)。从人机交互的有效性来看，社交机器人对 ASD 儿童干预效果不一致的部分原因是社交机器人选用标准不统一。反之，在采用了相同的 NAO 机器人干预联合注意（Joint attention, JA）的研究中，ASD 儿童的 JA 都被成功诱发。此外，NAO 机器人高水平的刺激（凝视、指向、发声）比低水平的刺激（凝视、指向）诱发的 JA 得分更高(Anzalone et al., 2014)。因此，对社交机器人进行分类有助于统一社交机器人的选用标准，这对于在不同环境下比较社交机器人干预 ASD 儿童的有效性具有重要意义。

社交机器人选用标准不一也反映了 ASD 儿童的异质性，具体而言就是不同 ASD 儿童对社交机器人偏好存在差异性。社交机器人的新颖会唤起儿童的好奇心，ASD 儿童刚开始会因为新奇效应积极参与实验(Croes & Antheunis, 2021)。此时，社交机器人的外形、动作、语言等方面的合理配合，不仅可以提高 ASD 儿童的参与度，而且在社交维持方面起到非常重要的作用。因此，本文结合心理学领域的理论对社交机器人干预孤独症儿童的可行性和有效性进行理论补充，并在已有研究的基础上，总结梳理出 ASD 儿童对社交机器人的偏好及其偏好的因素，为研究者设计和选用不同类型的社交机器人提供参考。

意见 2：2 是介绍社交机器人在孤独症谱系障碍儿童干预中的应用，但 2 的子标题下的内容与这个主标题不符。此外，2 的主标题下说“重点是开发实现机器人与用户的有效交互”，

之后却没提这个“重点”。

回应：感谢专家对内容衔接上提出的建议。2的主标题下说“重点是开发实现机器人与用户的有效交互”这一重点是贯穿全文的，在这里主要是想引出人机交互有效性的重点是统一社交机器人的选用标准，这一标准与 ASD 儿童对社交机器人的偏好以及影响因素具有非常重要的关系。我们在第 2 部分主标题“2 社交机器人在孤独症谱系障碍儿童干预中的应用”下方对这一问题进行了说明。（见第 2 部分，第 22-23 页）因第一个问题答案相同，故在此不放原文，可参考上一问题回答。

意见 3：2.2 想要介绍社交机器人在孤独症儿童干预中的三个理论基础，但读完后，看不出这些理论为什么能说明社交机器人能应用于 ASD 干预。作者需要一段话总结并点题。作者在介绍这三个理论时，也有混乱不清的现象：新本体范畴假说和心理盲假设混在一段介绍；段落第一句往往是主题句，但作者在主题句后展开的内容有点割裂，并且许多内容看不出与主题句的关联。这些问题在其他段落中也经常出现。

回应：感谢专家指出本文在理论基础论述、主题句和内容存在割裂的问题。我们做了如下修改（修改内容详见 2.4，第 25-26 页，其他部分内容与主题句的衔接修改将在下面的问题进行回答或在原文中用红色字体标出）：

第一，我们对三个理论基础的论述的先后顺序和内容进行了修改。首先，本文介绍了“心理盲理论”，并在段尾总结社交机器人干预 ASD 儿童社交障碍可能与疗师进行康复治疗课程存在相似的行为学和神经影像学表现。接着，我们对社交机器人引出的“新本体”范畴假说进行介绍，并总结出作为一种新的道德实体，社交机器人的干预价值及其干预的外部效度值得我们进一步探索。最后，我们结合“社会动机理论”及实证性研究结果提出社交机器人有望成为一种社交奖励，从而激发 ASD 儿童的社会动机，但目前研究局限在行为学表现，缺乏功能性神经成像、神经生理学等证据支持。

第二，我们在段首对三个理论进行了总结：“社交机器人对 ASD 儿童社交互动障碍干预的有效性可结合心理盲假设、社会动机理论以及新本体范畴假说进行分析和解释。”在这里指出了三个理论是对社交机器人干预有效性进行理论支持的。

第三，我们将原先的子标题“2.2 社交机器人在孤独症儿童干预中的理论基础”改为“2.4 社交机器人干预孤独症儿童可行性的理论基础，并进行了第二分子标题顺序上的调整。

原文修改后如下：

2.4 社交机器人干预孤独症儿童可行性的理论基础

社交机器对 ASD 儿童社交互动障碍干预的有效性可结合心理盲假设、社会动机理论以及新本体范畴假说进行分析和解释。

心理盲假设认为 ASD 患者的心理理论存在缺陷，表现为难以理解他人的心理状态，进而产生社交障碍 (Andreou & Skrimpa, 2020)。研究发现，ASD 儿童在与人完成心理理论相关任务上存在损伤 (Baron-Cohen, 2000)。张等人 (2019) 研究表明，45% ASD 儿童未能与 NAO 机器人完成错误信念任务，这说明 ASD 儿童与仿人机器人互动时表现出与人互动时相似的缺陷。此外，一项神经成像研究报告了 ASD 和 TD 参与者在处理机器人面部时的大脑激活模式相似 (Chaminade et al., 2012)。因此，仿人机器人干预 ASD 儿童社交障碍可能与治疗师进行康复治疗课程存在相似的行为学和神经影像学表现。

社交机器人的出现引出了一种新本体范畴 (New ontological category, NOC) 假说，该假说认为儿童会将社交机器人看作一种与人类不同的新实体 (Kahn et al., 2013; Zhang et al., 2019)，但儿童并不认为社交机器人具有自由和公民权利 (Kahn et al., 2012)。研究表明，3 岁和 5 岁 TD 儿童对 NAO 仿人机器人是否具有生命存在困惑，5 岁的儿童能够明确非仿人机器人 Dash 是无生命的 (Goldman et al., 2023)。Kahn 等人 (2012) 研究发现，学龄前的 TD 儿童可以将心理状态归因于机器狗和仿人机器人。研究者从两个方面判断某一实体是否具有道德实体 (完成新理论归因)。一方面是询问儿童某一实体是否具有道德。如研究者打断人机游戏互动，并违反机器人意愿将其放在壁橱里，研究者就这一行为与儿童进行结构化访谈。另一方面是询问某一实体是否应该为其造成的伤害承担道德责任，如机器人错误评估他人的游戏表现，导致他人失去 20 美元奖金，研究者询问被试机器人是否对伤害应该负责。作为一种新的道德实体，社交机器人的干预价值及其外部效度值得我们进一步探索。此外，社交机器人不仅可以作为干预或辅助干预工具使用，也可以作为社交奖励存在。社会动机理论认为 ASD 患者社会动机存在缺陷，表现为社会定向受损、社会奖赏不足以及社交维持策略缺损 (Wang et al., 2021)。Bekele 等人 (2014) 发现 ASD 儿童看 NAO 机器人比看治疗师的时间更多。Damm 等人 (2013) 发现，ASD 患者对机器人脸有更多的眼神注视，这表明 ASD 对社交机器人存在一定的注意偏向，社交机器人对 ASD 儿童具有吸引力可能是因为社交机器人在一定程度上具有社交奖励的作用。社交机器人的社交维持主要体现在参与度维持层面，研究发现 ASD 儿童在人机互动中的参与的积极性提高，在长达 40 天的干预中的参与度也没有发生系统性的变化 (Scassellati et al., 2018)。由此，社交机器人有望成为一种新的社交奖励来激发 ASD 儿童的社交动机，但目前研究局限在行为学表现，缺乏功能性神经成像、神经生理学等证据支持。

意见 4: 2.1 的主题句告诉读者是要介绍社交机器人可分为灵活度和仿人程度。在介绍完它们的定义后，整个段落却在介绍 nao 机器人，让人莫名其妙。另外，自由度的定义也未介绍。

回应: 根据专家的建议，我们做了如下修改：（详见 2.1，第 22-23 页）

第一，我们在 2.1 部分补充了自由度的定义：“这里的自由度是指机器人完成运动需要的最小坐标数。”此定义是参考力学、自动化、物理学自由度的定义以及机器人的特殊性进行的总结，故未放参考文献。

第二，补充了介绍 NAO 机器人的重要性：“其中，Nao 机器人干预中应用广泛，灵活度和仿人程度均较高，具有其他仿人机器人不具备的优势 (Alabdulkareem et al., 2022)。”

意见 5: 2.2 第一句话“已有研究表明 ASD 儿童对社交机器人存在偏好，这种偏好在一定程度上反映了 ASD 儿童社交互动方面的核心缺陷”，它与后几段理论介绍有何逻辑联系？作者是想表达后边的三个理论都支持“ASD 儿童对社交机器人存在偏好”吗

回应: 感谢专家对理论部分内容衔接存在问题的指正。我们做了如下修改：

首先，删去“已有研究表明 ASD 儿童对社交机器人存在偏好，这种偏好在一定程度上反映了 ASD 儿童社交互动方面的核心缺陷”这句话，因为这句话与后文理论衔接不是很紧密，给读者造成一定的理解困难，

其次，三个理论为社交机器人对 ASD 儿童干预的有效性提供了理论支撑。

最后，我们在这一部分的结构和内容进行了较大变动和补充，因与前面的回答重复，故在此不放原文，详见本文 2.4，第 25-26 页。

意见 6: 2.3 提到“研究表明 ASD 患者偏好外观简单的非仿人机器人”，但之后紧接着说“严重 ASD 患者偏向于 Actroid-F 仿人机器人，ASD 患者对 CommU 的反应比 Actroid-F 更频繁”。这些观点互相矛盾。之后一段介绍的“恐怖悬崖”，作者更是用这一段的证据去反驳了作者前一段的观点。

回应: 非常感谢专家的提出的问题，我们对参考文献进行重新阅读后，结合专家提出内容矛盾等问题进行重新梳理，现做出如下修改（详见 2.2，第 24 页）：

第一，将“2.3 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人的偏好”调整为“2.2 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人的偏好，目的是与上文衔接更加紧密。

第二，将“研究表明 ASD 患者偏好外观简单的非仿人机器人”替换为“与真人互动相

比，4名ASD患者（5-10岁）在与具有机器人外观的“机器人”（演员穿着普通机器人服装）互动反应更加积极（凝视、触摸、靠近方面的得分显著提高）。”因为替换前的“非仿人机器人”是相对于真人而言的，结论过于简单粗糙，修改后的内容更加具体。

第三，将“严重ASD患者偏向于Actroid-F仿人机器人，ASD患者对CommU的反应比Actroid-F更频繁”替换为“一项研究表明，孤独症谱系障碍商数量表(the Autism Spectrum Quotient-Japanese version, AQ-J)分数与ASD患者（平均年龄12.6岁）对机器的偏好呈现负相关($r = -0.64$)，表明低功能ASD儿童对Actroid-F仿人机器人的偏好高。此外，在涉及自我表露任务时，ASD患者（平均年龄15.91岁）对CommU仿人机器人（视觉简单）比Actroid-F仿人机器人的反应频繁。”这里想表达的意思是ASD患者对仿人机器人存在偏好。

第四，原文在修改后做出总结：“ASD儿童对仿人机器人存在偏好，社交机器人的外观设计可能还需要融合一定的仿人元素。”接着引出下一段“机器人的外形越接近真实人物形象是否会引起恐怖谷效应？”这一问题。

最后，本文在2.2第一段的论述中的论证顺序进行了调整，调整后的内容如下：
在人机互动中，参与者往往对机器人的外形和运动印象深刻(Kumazaki et al., 2020)。有研究指出，ASD儿童和正常发育(typically developing, TD)儿童最喜爱的Keepon机器人，这表明简单、夸张的卡通外表可以吸引儿童的注意力。ASD最不喜欢的是Pleo动物机器人，但却对Probo有一定的偏好（腹部有屏幕的动物机器人）(Peca et al., 2014)。与真人互动相比，4名ASD患者（5-10岁）在与具有机器人外观的“机器人”（演员穿着普通机器人服装）互动反应更加积极（凝视、触摸、靠近方面的得分显著提高）(Robins et al., 2006)。一项研究表明，孤独症谱系障碍商数量表(the Autism Spectrum Quotient-Japanese version, AQ-J)分数与ASD患者（平均年龄12.6岁）对机器的偏好呈现负相关($r = -0.64$)，表明低功能ASD儿童对Actroid-F仿人机器人的偏好高(Kumazaki et al., 2017)。此外，在涉及自我表露任务时，ASD患者（平均年龄15.91岁）对CommU仿人机器人（视觉简单）比Actroid-F仿人机器人的反应频繁(Kumazaki, Yoshikawa, et al., 2018)。由此可见，ASD患者对仿人社交机器人具有一定的偏好，社交机器人的外观可能还需要融合一定的仿人元素。

意见 7: 2.4 第一句话提到“程度、年龄、性别认同”。作者在之后的展开中是否提到了这三点？此外“一项研究表明女性的音高显著低于男性（音高为注意指标）”这句话想说明什么？

回应: 针对专家提出的这两点问题，我们进行如下回答（详见 2.3，第 25 页）：

第一，将“例如症状严重程度、年龄、性别认同等。”改为“例如 ASD 儿童的性别以及症状严重程度等因素”，因为目前研究关于 ASD 年龄影响偏好的研究较少，下文并未据此进行展开，故作此修改，

第二，将“一项研究表明女性的音高显著低于男性（音高为注意指标）”改为“一项研究表明女性的音高显著低于男性（音高为注意指标），女性似乎比男性更关注机器人”，这句话是想表明男性和女性对于社交机器人的关注度不同，患者性别可能会影响对社交机器人的偏好。

意见 8: 在 3 这一部分，持续注意与联合注意，语言产生的数量与语言交流，情感表现与共情能力到底有何关联，它们是一回事吗？

回应: 感谢专家提出的问题，我们在 3 主标题下将联合注意、自我启动、语言非语言、共情能力以及动作模仿这些社交互动技能进行串联，他们都是 ASD 儿童需要发展的社交技能。我们做了如下补充（详见 3，第 26 页）：

ASD 儿童在社交互动方面存在明显的缺陷，包括联合注意损伤、难以主动发起社交沟通、语言与非语言发育迟缓、共情能力存在缺陷以及难以模仿他人动作等方面。目前社交机器人对 ASD 儿童的干预领域主要集中在社交互动层面。本文在已有研究的基础上对机器人在 ASD 儿童群体中不同技能的干预进行梳理和分析，以期为后续研究设计参照。

意见 9: 研究展望没有特异性，有许多空谈的语句。比如不能只说多模态的数据记录、探究神经机制很有价值，需要详细指出具体价值到底在哪。

回应: 再次感谢专家的建议，我们重新梳理了展望，对 5.1 和 5.2 部分进行了修改和补充。具体内容如下（详见 5.1，5.2，第 30-31 页）：

5.1 进一步探究人机交互双方特点，开发新的社交场景

尽管 ASD 儿童对社交机器人具有一定的视觉偏好，但是目前研究中使用的机器人类型较多，缺乏统一标准。首先，社交机器人的外形、运动、自我表露以及干预时长等方面会对社交技能训练产生影响，研究表明，早期密集行为干预每周 25 小时较为有效 (Mottron,

2017), 其次, 很少有研究对社交机器人的干预时长进行探究。此外, 目前的研究较少涉及 ASD 儿童的语言知识学习、生活技能等方面的训练, 并且 ASD 儿童在年龄、性别、症状严重程度会在多大程度上影响社交机器人干预效果, 这些问题需要更多的实证性研究进行探讨。

在未来研究中, 可研发提供 ASD 儿童使用的一般性机器人类型, 并融入多种互动表现方式。例如, 在机器人表现层面, 社交机器人可以通过舞蹈、音乐、瑜伽、游戏等形式调动 ASD 儿童参与的积极性和主动性; 在机器人设计层面, 一般性机器人可在多种场合对 ASD 儿童的核心症状以及语言知识等方面进行干预, 个性化的机器人可以针对 ASD 儿童的特异性行为进行针对性的训练, 根据一般性和个性化机器人设计不同的使用场景, 达到训练技能的维持与泛化。

5.2 结合多模态和脑科学技术, 揭示人机互动的心理过程

社交机器人干预 ASD 儿童社交技能的研究正在不断发展, 但研究者很少关注人机互动的认知过程和心理机制。未来研究可以从技术和实验设计两方面入手, 在技术搭载层面, 社交机器人可以结合多模态数据加强对行为学现象的分析, 多模态数据识别包括视觉信息、听觉信息、语音、语义、语用、心率等多种数据, 有助于反映人机互动行为背后的心理变化。此外, 人机互动中还可采用功能性近红外光谱技术 (fNIRS)、fMRI、ERP 等脑科学技术实时采集数据, 进一步揭示人机互动的神经机制。在实验设计层面, 社交机器人的互动场景在融合传统 ABA、PECS、DTT 等方法的基础上, 可以加强对 ASD 儿童的多感官调动, 采用不同社交线索丰富干预课程, 引导儿童形成正确的人际反应。同时, 由于在实验中不能主动诱发 ASD 儿童刻板行为再进行干预, 社交机器人可以预测并识别刻板行为, 及时提醒治疗师对 ASD 儿童的刻板行为进行中断。因此, 实验设计的构想离不开技术的支持, 社交机器人的直接/辅助干预更应该注重搭载人工智能技术。

意见 10: 其他审稿人提到“应用社交机器人对孤独症儿童进行社交训练, 是否会存在一个劣势: 导致孤独症儿童越来越喜欢和倾向于同机器交流, 而不是人交流? 是否会进一步减少, 孤独症儿童和人的社交互动机会? 从长期来看, 是否不利于孤独症儿童在真实生存情境下, 社交技能的提升?”, 我觉得这是一个非常好的问题, 作者也尝试做了回答。但我觉得, 作者对该问题的说明也是太过于笼统, 没有提出自己特有的想法如何具体解决这一问题。

回应: 感谢专家指出的问题, 根据以往研究的结果不足以针对社交机器人可能存在的劣势进行肯定的回答。在展望部分, 我们从人机互动特点层面、科学技术层面尝试进行回答, (详

见 5.1 和 5.2, 第 30-31 页)。落实到实际实验中, 我们还需要更多研究者的加入以及大量的随机对照实验和随访调查才能对这些问题进行一一回答。由于上一回答呈现了 5.1 和 5.2 论述部分内容, 故在此不进行重复呈现。

意见 11: 引言第一段中的 ABA、PECS 等英文缩写需要写出具体的单词。TD 第一次出现时需要介绍全称

回应: 本文已在引言第一段补充了英文全程和缩写, 并在全文进行了检查。具体补充如下(详见引言, 第 21 页, 2.2, 第 24 页):

(1) 应用行为分析法 (Applied Behavior Analysis, ABA)、图像交换沟通系统 (The Picture Exchange Communication System, PECS)、结构化教学 (Treatment and Education of Autistic and Communication handicapped Children, TEACCH)、关键反应训练 (Pivotal Response Treatment, PRT)、回合式教学 (Discrete Trial Training, DTT)

(2) 正常发育 (typically developing, TD) 儿童

意见 12: 整篇文章读下来, 我也发现作者有点不认真, 单回复信的开头两句话就都出现了句子不通顺现象。此外, 全文中还存在一些错别字(比如“成本“, ”的“和”地“的乱用), 参考文献引用格式错误等等。

回应: 非常感谢专家的意见。我们对全文进行了检查, 对语法、错字以及参考文献引用格式进行了检查和修改。

第三轮

审稿人 3 意见:

在经过作者的修改后, 文章得到了进一步完善。但上一轮的问题, 依然存在。还存在部分逻辑问题。

意见 1: “由此可见, ASD 患者对仿人社交机器人具有一定的偏好, 社交机器人的外观设计可能还需要融合一定的仿人元素。”作者是如何得出这一结论的。

回应: 感谢专家提出的问题。从本段论述中涉及的非仿人机器人: Keepon、Pleo, 以及仿人

机器人：Actroid-F、CommU 等社交机器人，我们得出 ASD 患者对社交机器人存在偏好。我们思考了后半句“社交机器人的外观设计可能还需要融合一定的仿人元素”可能存在表述不当，本句话的原意是想表达在 ASD 儿童社交康复中使用仿人机器人的内、外效度都较好，建议选择仿人机器人进行 ASD 康复治疗。这里的论据主要来自本段阐述的 ASD 儿童对社交机器人存在偏好，且在人机互动过程中 ASD 儿童对仿人机器人的社交频繁。所以我们将“由此可见，ASD 患者对社交机器人具有一定的偏好，社交机器人的外观设计可能还需要融合一定的仿人元素。”修改为“由此可见，ASD 患者对社交机器人具有偏好，在社交机器人对 ASD 儿童的康复治疗中，可以优先考虑使用仿人机器人。”（修改内容详见第 2 部分，2.2，第一段最后一句话。第 24 页）

意见 2: 我没有理解为什么女性的音高方差显著低于男性（音高方差为注意振荡 oscillation of attention 指标），就能说明女性似乎比男性更关注机器人。

回应: 感谢专家提出的问题。根据文献原文和机器人专业术语检索，我们发现本文对 pitch variance 的翻译存在错误，pitch variance 在原文中是指俯仰角方差，被错译为音高方差。因为引用的文献是研究联合注意，且在实验设计中涉及发音，所以会误以为该词为音高方差。我们将本句话修改为“女性的俯仰角方差显著低于男性（俯仰角方差为注意振荡 oscillation of attention 指标），说明女性似乎比男性更关注机器人。”

此外，我们对全文机器人相关专业术语进行了重新阅读原文和关键词检索，没有发现其他地方存在类似情况。（修改内容详见第 2 部分，2.3，第一段第二句话。第 26 页）

意见 3: 在没有对比机器人干预和康复治疗之间的差异情况下，如何得出“仿人机器人干预 ASD 儿童社交障碍可能与治疗师进行康复治疗课程存在相似的行为学和神经影像学表现。”

回应: 感谢专家指出本文总结不当之处。“仿人机器人干预 ASD 儿童社交障碍可能与治疗师进行康复治疗课程存在相似的行为学和神经影像学”是我们想要探究的实验假设，以目前的实证性研究的证据确实不足以支撑该结论。在该段落，我们阐述了人机互动与真人互动存在相似的心理理论缺陷和大脑激活模式，只能总结出人机互动与真人互动可能存在相似的行为学和神经影像学表现。所以，我们将“仿人机器人干预 ASD 儿童社交障碍可能与治疗师进行康复治疗课程存在相似的行为学和神经影像学表现。”修改为“因此，人机互动与真人互动可能存在相似的行为学和神经影像学表现”。（修改内容详见第 2 部分，2.4，第二段最后一句话。第 26 页）

意见 4: 我依然没明白“心理盲假设“和”新本体范畴“如何成为机器人干预 ASD 的理论基础。此外，治疗师的干预是不是也基于这些理论？那机器人干预的特异性理论又在哪？

回应: 感谢专家提出的疑问。我们分两个部分对此问题进行解答：

(1) “心理盲假设“和”新本体范畴“如何成为机器人干预 ASD 的理论基础？机器人干预的特异性理论又在哪”

首先，我们选择“心理盲理论”是因为心理理论缺陷可能是导致 ASD 患者社交缺陷的核心原因之一，研究表明，ASD 儿童在与机器人和真人互动上均存在心理理论缺陷，说明机器人与真人存在一定的共性。其次，通过“新本体范畴假说”证明机器人可能具有道德实体，这也丰富了社交机器人干预 ASD 儿童道德领域的可行性。最后，通过“社交动机理论”突出了社交机器人在干预社会定向的优势（尤其是凝视、注意层面，因为社交机器人简化了大量社会信息的输入），社交机器人在社交奖励层面的作用。以上这些理论在一定程度上证明了 ASD 儿童与社交机器人互动以及与真人互动中，可能存在心理理论和道德层面的共性。而且，社交机器人在激发社会动机，简化社会信息输入，干预社会注意等层面具有独特性的优势。这为社交机器人干预的可行性和合理性提供了理论支持。

(2) 治疗师的干预是不是也基于这些理论？

治疗师干预课程的设计往往融合多种教学手法，包括应用行为分析、回合式教学、结构化教学、地板时光、丹佛模式等，其背后的理论是基于现有解释 ASD 患者核心缺陷的理论，包括“心理盲理论”、“社会动机理论”、“眼神回避假说”、“强烈世界理论”等等。社交机器人的干预也是根据 ASD 儿童社交缺陷的理论解释上进行干预方案的设计，且社交机器人在外形（简化社会信息输入）、输出稳定、可重复性高等方面具有一定的优势。本文在原有理论的基础上增加了“新本体范畴假说”，进一步阐明了社交机器人干预具有的潜在优势。

意见 5: 研究展望还是有些泛，以及存在不合理的展望。比如如何结合 fMRI 去研究人机互动？

回应: 感谢专家提出的建议。我们对 FMRI 在社交机器人干预中的应用进行了详细说明。修改及新增内容如下：（修改内容详见第 5 部分，5.2。第 31-32 页）

人机互动中还可采用功能性近红外光谱技术（Functional near-infrared spectroscopy, fNIRS）、事件相关电位（Event-related potential, ERP）、任务态功能磁共振成像（Task-based

functional magnetic imaging, T-fMRI) 等脑科学技术实时采集数据, 进一步揭示人机互动过程中的神经机制。

此外, 通过扫描机器人干预前后的静息态功能磁共振成像 (Resting-state cerebral functional magnetic resonance imaging, RS-fMRI), 我们可以分析各个脑区在结构像和功能像的特征以及全脑功能连接的改善情况, 为机器人干预提供影像学证据支持。

意见 6: “不认真”的现象依然存在, 比如‘父母对机器人干预的可接受性和依从性也很高’, 多了“干预”? 有些字体大小不统一。

回应: 感谢专家的建议。我反思了自己在文字校对上存在的问题, 并仔细阅读全文, 将重复字词、字体不统一等问题之处进行了调整, 并请老师、同学进行了再一次校对, 错误地方均已修正。再次感谢专家的耐心和严谨!

意见 7: 为什么 Treatment and Education of Autistic and Communication handicapped Children, TEACCH 翻译成结构化教学?

回应: 感谢专家提出的问题。我在中国知网上进行了“结构化教学”的关键词搜索, 在 3 篇文献中找到了 Treatment and Education of Autistic and Communication handicapped Children, TEACCH 被翻译成了结构化教学/结构化教育。也有多篇文献将结构化教学译为: structured teaching。为方便理解, 我们统一将结构化教学译为 Structured teaching。 (修改内容详见引言, 第 22 页)

TEACCH 详见文献

[1] 马磊. 结构化教育结合地板时光在孤独症儿童治疗中的疗效分析[D]. 安徽医科大学, 2013.

[2] 刘梦瑶. 基于结构化教育模式下自闭症儿童治疗性骑马的干预研究[D]. 南京体育学院, 2023. DOI: 10. 27247/d. cnki. gnjtc. 2023. 000186.

[3] 葛路遥. 结构化教学对自闭症学生课堂干扰行为的干预研究[D]. 辽宁师范大学, 2021. DOI: 10. 27212/d. cnki. glnsu. 2021. 001040.

structured teaching 详见文献

[1] 倪芬. 结构化教学对 3-5 岁自闭症儿童自理能力的干预研究[D]. 广州大学, 2023. DOI: 10. 27040/d. cnki. ggzdu. 2023. 000407.

[2] 朱璞滢. 孤独症班级中结构化教学的应用现状研究[D]. 辽宁师范大学, 2023. DOI: 10. 27212/d. cnki. glnsu. 2023. 001131.

[3] 刘紫寒. 结构化教学对自闭症儿童共同注意缺陷的干预研究 [D]. 南京师范大学, 2021. DOI: 10. 27245/d. cnki. gnjsu. 2020. 002295.

意见 8: 虽然作者提到仔细检查了全文, 但依然存在缩写词第一次出现时没写具体单词的问题, 比如 FNIRS 等

回应: 感谢专家的提出的问题。我们在第 5 部分, 5.2 补充了 FNIRS 的具体单词, 并对全文单词缩写进行检查并补充。修改如下: 功能性近红外光谱技术 (Functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)、事件相关电位 (Event-related potential, ERP)、任务态功能磁共振 (Task-based functional magnetic imaging, T-FMRI)、静息态脑功能磁共振成像 (Resting-state cerebral functional magnetic resonance imaging, RS-FMRI)。(修改内容详见第 5 部分, 5.2, 第 31-32 页)

第四轮

非常感谢审稿专家和编委老师的耐心指导! 我们十分重视审稿专家和编委老师的建议, 同时也反思了本文在逻辑和内容上存在的问题。因此, 我们首先根据贵刊的修稿意见对文章进行了初修。接着, 我们邀请了一名心理学研究生和一名非心理学(中文系)本科生对文章进行了全文阅读, 并实时记录问题。在此基础上, 我们对文章出现理解困难、文字校对等问题进行了二修。最后, 我们还分别邀请了一位心理学博士、一位心理学副教授和一位心理学教授对文章进行了挑剔阅读, 并总结了文章在逻辑和措词等方面的问题。基于此, 我们对本文进行了三修。其中, 红色字体标注的是修改和补充部分, 蓝色字体标注的是文章创新部分(蓝色字体也有一定的修改)。

审稿人 3 意见:

意见 1: 如何得出 ASD 患者对仿人社交机器人具有一定的偏好, 社交机器人的外观设计可能还需要融合一定的仿人元素”这一问题, 审稿人的意思是作者在这一段的描述中, 不单单表明 ASD 喜欢仿人的机器人, 其实也喜欢非仿人的机器人: 比如 ASD 儿童和正常发育儿童最喜爱的 Keepon 机器人; AQ 分数与 ASD 患者对机器人的偏好呈现负相关(隐含意思就是高功能 ASD 更喜欢非仿人?)。既然 ASD 也喜欢非仿人的机器人, 所以如何得出优先考虑使用仿人机器人? 题外话, AQ 严谨地说是反映严重程度而不是高低功能(往往 IQ 测量)

回应：非常感谢审稿专家的建议。此部分确实存在论据不能支持观点以及用词不严谨等问题，所以我们做了如下修改：

(1) 首先，我们对“2.2 孤独症谱系障碍儿童对社交机器人的偏好”这一节进行了重新梳理，从 ASD 儿童对非仿人机器人和仿人机器人的偏好进行文献分析，并得出可能结论：在非仿人机器人方面，ASD 儿童可能多对外观设计为卡通、动物等形象的机器人存在偏好。在仿人机器人方面，ASD 儿童可能对机器人的外形和技术存在偏好。

(2) 其次，我们对引用的实证研究结果进行了重新划分：从 ASD 儿童对 Keepon 机器人和 Pleo 动物机器人等非仿人机器人的偏好得出 ASD 儿童可能对社交机器人设计为卡通、动物等外形存在偏好；从 ASD 儿童对 Nao 仿人机器人、CommU 仿人机器人和 Actroid-F 仿人机器人的偏好得出 ASD 儿童可能对仿人机器人的外形和技术存在偏好。

(3) 其次，我们把原文的表述“AQ 分数与 ASD 患者对机器的偏好呈现负相关”修改为“有研究发现孤独症谱系障碍商数量表得分较高的 ASD 个体(智商大于 100)更喜欢 Actroid-F 仿人机器人”，后面的表述更加准确，也更贴合文献原文。

(4) 最后，我们是想强调出仿人机器人可能在 ASD 儿童和真人直接存在“过渡性”的作用，但是在逻辑和内容的表述上不是很恰当，所以我们删除了“ASD 患者对仿人社交机器人具有一定的偏好，社交机器人的外观设计可能还需要融合一定的仿人元素”这一结论，指出“但由于目前研究存在样本小、机器人数量少、被试异质性较高等局限性，无法对机器人偏好得出一致性结论。”此外，我们在“恐怖悬崖”部分强调了 ASD 儿童对仿人机器人存在偏好的可能原因。（修改内容详见 2.2 部分，第一自然段）

意见 2：此外，如何理解图 2 的 y 轴往上和往下分别代表的含义？这需要在文章中说明。如果往下代表的是更不舒服，那么“如果机器人外形接近真实的人物，ASD 患者可能会觉得更舒服”这句话是不是并不是很妥当？

回应：非常感谢专家的指导。我们在原文中补充说明了图 2 的 y 轴往上和往下分别代表的含义为：情绪正、负值，该数值是由模型公式计算得出。此外，针对“恐怖悬崖”效应，我们对内容也进一步补充说明。基于此，我们在“强烈世界理论”的基础上推测出 ASD 个体可能对仿人机器人存在低敏感度感知。修改内容如下：

(1) y 轴往上和往下的含义及“恐怖悬崖”内容补充：基于“恐怖谷”效应，研究者提出了 ASD 个体的情感曲线模型(见图 2)，并对机器人辅助干预效果进行数值模拟，该模型以机器人外形的机械程度和仿人程度为横坐标，以正、负情绪反应(由公式计算出的情绪反应

值)为纵坐标(Ueyama, 2015)。当情绪反应为正时,可以促进学习;当情绪反应为负时,会阻碍学习。从图2中可以看出ASD个体对仿人机器人可能并不存在“恐怖谷”效应而是具有“恐怖悬崖”(uncanny cliff):当机器人在一定程度上变得更加仿人时,并不会引起ASD个体的负性情绪;而当仿人机器人与真人难以区分时,仿人机器人可能引发ASD个体的社交回避,进而产生负面情绪。实证研究也发现Kasper仿人机器人会引发正常人的“恐怖谷”效应,但是ASD儿童却对其表现出主动社交和频繁触摸等积极行为(Dautenhahn et al., 2009)。

(2)此外,从正常人和ASD个体对社交机器人开始产生负性情绪节点的差异性(两条情感曲线与横坐标的不同交点,蓝色阴影部分)可以发现,ASD个体对仿人机器人的敏感度感知可能低于正常同龄人,这种低敏感性可以从强烈世界理论进行解释。该理论认为社会信息会引发ASD个体杏仁核的过度反应,当面对大量的社会信息(如多种面部表情、肢体动作等)时,ASD个体容易产生情感压力和焦虑情绪,为了缓解这种负性情绪,他们表现出社交回避行为(范晓壮等, 2020; Markram & Markram, 2010)。而仿人机器人在保留一定仿人元素的基础上,简化了其面部表情和肢体运动的复杂性,与真人相比,仿人机器人减少了大量社会信息的涌入,所以在一定程度上缓解了ASD个体的负面情绪。因此,ASD个体对仿人机器人的低敏感度性可能是由于机器人的外观和技术等原因。

意见3:即使改成俯仰角差异,我觉得读者依然不明白为什么这个差异能说明女性可能比男性更关注机器人。希望作者站在读者角度写作

回应:感谢审稿专家的建议。我们也认为站在读者的角度,这句话确实不好理解。所以我们对这句话进行了删除,并且重新梳理了“2.3孤独症谱系障碍儿童对社交机器人偏好的影响因素”这一节的内容,对语句和内容作了进一步的调整和补充,先修改如下:

ASD儿童的性别、智力和症状表现等因素可能会影响其对社交机器人的偏好。例如一项研究认为男孩与女孩在对机器人的分类上存在差异,即男孩将Kasper仿人机器人划分为人类,女孩则将其视为玩具(Coeckelbergh et al., 2016)。同时,ASD个体的智商对机器人干预效果也会产生影响,有研究认为智商较低的ASD个体与keepon机器人互动较多,但智商较低的ASD个体较难从机器人干预中受益(Kozima et al., 2009)。此外,视觉敏感度较低的ASD儿童更容易处理来自机器人的社交线索,而听觉敏感性较高的ASD儿童则需要更加安静的机器人(Chevalier et al., 2021)。除了上述因素可能会影响ASD儿童对社交机器人的偏好外,ASD儿童的年龄阶段、个体经验、成长环境等内外因素都有可能对社交机器人的偏好

产生影响，但目前研究者很少对这些因素进行探讨。因此，研究者在选用社交机器人干预时还需要对上述可能存在的影响因素进行进一步的实证研究探索。

意见 4: 在修改完后，作者提到“此外，一项神经成像研究报告了 ASD 和 TD 参与者在处理机器人面部时的大脑激活模式相似（颞叶的活动水平相同）(Chaminade, Da Fonseca, et al., 2012)”，根据这个论据得出“人机互动与真人互动可能存在相似的行为学和神经影像学表现”。我觉得这个逻辑依然不妥。作者对比的是 ASD 和 TD 在机器人上的差异，但得出的结论却是加工机器人和真人之间的相似性。

回应: 感谢您对论文的细致阅读和宝贵建议。我们考虑到这一段的内容与该小节“2.4 社交机器人干预孤独症儿童可行性的理论假说”中的主题可能不是特别符合，而且该段的论据并不充分，所以我们决定将该段删除，并对这一小节进行重新总结和归纳。修改如下：

(1) 总结句：**社交机器人作为干预 ASD 儿童社交障碍工具的可行性可以从心理学相关领域假说进行理解。基于“新本体”范畴假说(New ontological category, NOC)和社会动机理论，社交机器人对 ASD 儿童来说，其既是一种新的实体，也是一种社交奖励。因此，社交机器人在干预 ASD 儿童的社交障碍中可能具有一定的过渡性作用。**

(2) 论述 1: 随着社交机器人的出现，研究者提出了“新本体”范畴假说。该假说认为儿童会将社交机器人看作一种与人类不同的新实体(Kahn et al., 2013; Zhang et al., 2019)。例如一项研究表明学龄前儿童认为 Robovie 仿人机器人具有心理状态（有感情），是可成为朋友和被信任的社会存在，并且其在道德上应该被公平对待，不应该受到心理伤害(Kahn et al., 2012)。另一项研究发现 5 岁的儿童能够明确非仿人机器人 Dash 是无生命的，但 3 岁和 5 岁儿童认为 Nao 仿人机器人可能存在生命(Goldman et al., 2023)。这些研究提示了儿童可能将仿人机器人感知为一种新的本体。

(3) 论述 2: 此外，社交机器人不仅可作为干预工具使用，还可在干预中发挥社交奖励作用。社会动机理论认为 ASD 个体的社会动机存在缺陷，表现为社会定向受损、奖赏脑环路异常以及缺乏社交维持策略等方面(王磊 等, 2021)。**在社会定向方面**，研究发现 ASD 儿童看 Nao 机器人比看康复治疗师的时间更多(E. Bekele et al., 2014)；Damm 等人(2013)发现，ASD 个体对机器人脸也有更多的眼神注视。这些研究表明 ASD 个体对社交机器人可能存在一定的注视偏向。**在社交奖赏方面**，研究表明社交机器人会唤起儿童的好奇心，ASD 儿童可能会因为“新奇效应”积极参与实验(Croes & Antheunis, 2021)。**在社交维持方面**，Scassellati 等人(2018)发现，ASD 儿童在与社交机器人互动时的参与度更高，且在长达 40

天的干预中参与度保持一致。由此，社交机器人可作为一种社交奖励来激发 ASD 儿童的社交动机，在干预中发挥作用。

意见 5：“新本体范畴”是用来干预道德的理论基础，作者需要在文中指出。

回应：感谢专家的建议。我们重新查阅了文献发现，新本体范畴假说可以作为干预道德的理论基础，但是其并不是直接用来干预道德理论假说。我们反思可能是写作表述存在矛盾之处，所以我们对该段进行了重新整理，修改如下：

随着社交机器人的出现，研究者提出了“新本体”范畴假说。该假说认为儿童会将社交机器人看作一种与人类不同的新实体(Kahn et al., 2013; Zhang et al., 2019)。例如一项研究表明学龄前儿童认为 Robovie 仿人机器人具有心理状态（有感情），是可成为朋友和被信任的社会存在，并且其在道德上应该被公平对待，不应该受到心理伤害(Kahn et al., 2012)。另一项研究发现 5 岁的儿童能够明确非仿人机器人 Dash 是无生命的，但 3 岁和 5 岁儿童认为 Nao 仿人机器人可能存在生命(Goldman et al., 2023)。这些研究提示了儿童可能将仿人机器人感知为一种新的本体。

意见 6：我觉得这篇文章的主题是很有意义的，但作者的写作需要提高。作者的问题主要体现在：

- (1) 逻辑，论据和结论的关联性可能不强或无关；
- (2) 没站在读者角度写作。没有考虑到读者可能没有作者所拥有的知识，一些背景没介绍导致一些语句和结论不容易理解；
- (3) 反复出现文字校对的问题，可能反映作者真的不认真。作者多轮修改后依然存在上述问题，请编委定夺是否发表。

回应：非常感谢专家的建议，学生在第一次写作上确实存在很多问题，还有很多需要改进的地方。针对上述问题，我们已对本文进行了逐句修改。感谢专家的耐心和宝贵建议！

最后，再次感谢审稿专家和编委老师的耐心指导、宝贵意见以及辛勤付出。修稿的过程让我对研究的主题有了更加深刻的理解，也大大提升了我的论文写作能力。希望本次修稿能够达到发表要求！

第五轮

审稿人 3 意见：

意见 1：“（智商大于 100）”，请确认是智商还是 AQ；

回应：非常感谢专家的意见，我们重新查阅了原文，原文提及偏好 Actroid-F 机器人的 ASD 儿童的智商是大于 100。原文如下：In addition, the IQ of each child who preferred the android robot was at least 100.

意见 2：在提到共情干预时，为什么提到“心理理论”更差，它能反映共情的问题吗。

回应：再次感谢专家的意见，我们根据以往研究发现心理理论可以解释认知共情缺陷，心理理论缺陷也会影响共情能力的发展(Maliske et al., 2023)，因此我们进行了以下修改：

共情可以分为认知共情和情绪共情，ASD 儿童在认知和情绪上都缺乏共情能力(Baron-Cohen, 2000)。在认知共情层面，他们难以认知到他人的情绪状态(即心理理论缺陷)；在情绪共情层面，他们难以与他人的情绪同步(Dziobek et al., 2008; Maliske et al., 2023)。有研究发现心理理论的干预训练可能会提高 ASD 儿童的共情能力(Holopainen et al., 2019)。同时，部分 ASD 儿童能够将错误信念归因于机器人，即他们可以推断出机器人的心理状态(Zhang et al., 2019)。这提示机器人对 ASD 儿童共情能力的干预可考虑从心理理论训练角度入手。此外，有研究发现人际同步可能会促进情绪共情，例如 ASD 儿童与真人互动时表现出人际不同步，但与机器人互动时表现出人际同步(心率显著增加)和情绪感受性提高，这说明机器人可能增强了 ASD 儿童的情感表现(Giannopulu et al., 2018; Giannopulu et al., 2020)。新增文献如下：

Baron-Cohen, S. (2000). Theory of mind and autism: A review. *International review of research in mental retardation*, 23, 169-184.

Holopainen, A., de Veld, D. M. J., Hoddenbach, E., & Begeer, S. (2019). Does Theory of Mind Training Enhance Empathy in Autism? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 49(10), 3965–3972.

Maliske, L. Z., Schurz, M., & Kanske, P. (2023). Interactions within the social brain: Co-activation and connectivity among networks enabling empathy and Theory of Mind. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 105080.

再次感谢专家的建议！本文修改内容用红色字体标出，创新内容用蓝色字体标出。同时，本文新增的参考文献和论文自检报告中参考文献的比例也进行了相应地修改，均用黄色底色标出。

第六轮

编委 1 意见：经作者多轮修改，论文质量得到较大的提升，无进一步建议，推荐发表。

编委 2 意见：该文章选题很新颖，综述文献，能够反映出机器人在 ASD 方面的最新进展，尽管目前还没有形成系统深入的学术理论和观点。同意发表。

主编意见：同意发表。