

• 综 述 •

扩展现实技术在灾难医学中的应用进展^{*}贾淑钰¹, 邹晓月², 李 春¹, 沈 萍^{2,3△}

(1. 湖州师范学院医学院护理学院, 浙江 湖州 313000; 2. 湖州市第一人民医院人事处, 浙江 湖州 313000; 3. 湖州市第一人民医院手术室, 浙江 湖州 313000)

[摘要] 灾难医学是一门涉及预防、准备、响应和恢复的综合性学科,旨在最大限度地减少灾难对人类生命健康的危害。随着科技的进步,扩展现实(XR)技术逐渐成为灾难医学领域的重要工具。XR技术包括虚拟现实、增强现实和混合现实,通过创造沉浸式、交互式的数字环境,为灾难医学的各个阶段提供创新解决方案。该文旨在探讨XR技术的作用机制、应用现状、挑战与展望,以期为推动XR技术在灾难医学中的深入应用提供参考。

[关键词] 扩展现实; 灾难医学; 扩展现实; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2026.01.030

中图法分类号:R459.7;TP391.9

文章编号:1009-5519(2026)01-0159-05

文献标识码:A

Application progress of extended reality technology in disaster medicine^{*}JIA Shuyu¹, ZOU Xiaoyue², LI Chun¹, SHEN Ping^{2,3△}

(1. School of Medicine & Nursing, Huzhou University, Huzhou, Zhejiang 313000, China; 2. Personnel Department, The First People's Hospital of Huzhou, Huzhou, Zhejiang 313000, China; 3. Department Room, The First People's Hospital of Huzhou, Huzhou, Zhejiang 313000, China)

[Abstract] Disaster medicine is a comprehensive discipline involving prevention, preparation, response and recovery, which aims to minimize the harm of disasters to human life and health. With the progress of science and technology, augmented reality technology has gradually become an important tool in the field of disaster medicine. XR technology includes virtual reality, augmented reality and mixed reality. It provides innovative solutions for all stages of disaster medicine by creating an immersive and interactive digital environment. This article aims to explore the mechanism, application status, challenges and prospects of XR technology, in order to provide reference for promoting the in-depth application of XR technology in disaster medicine.

[Key words] Extended Reality; Disaster Medicine; XR; Review

灾难医学是指发生在各种自然灾害(地震、台风、洪水、海啸、传染病等)和人为灾难中(辐射灾难、生物恐怖主义、战争)导致患者发生功能障碍,而需要紧急救治和护理的医学学科,其核心涵盖及时有效开展医疗救援、疾病的预防控制与治疗、减轻受害者及家属的心理创伤、重建或恢复社会功能等^[1]。在全球灾害频发背景下,传统医学救援体系面临复杂场景救治能力不足的挑战,尤其在应急救援时效性与专业化方面亟待提升。扩展现实(XR)技术通过构建沉浸式数字环境,为技能培训、现场救治及灾后心理干预提供创新路径,现已成为该领域的重要技术支撑^[2]。本文通过分析XR技术的作用机制,综述其在灾难医学培训、救治、心理干预中的应用进展,并探讨现存挑战与发展趋势,以期推动XR技术在灾难医学中的深化应用提供参考。

1 XR 概述

XR技术通过融合现实世界与虚拟信息,涵盖虚

拟现实(VR)、增强现实(AR)与混合现实(MR)三大分支,支持用户在虚实融合环境中提升技能,目前已广泛应用于教育、医疗、建筑及军事等领域^[3]。VR是一种能够沉浸式体验虚拟世界的模拟系统,用户使用头戴式显示器或耳机体验计算机生成的仿真环境,实现深度交互体验;AR将虚拟信息叠加至现实场景,起到虚实融合的效果,同时也可进行实时定位与地图构建,近年来多被用于导航^[4];MR则是整合先进传感与成像技术,实现虚拟环境与现实场景动态交互,兼具VR的沉浸感与AR的虚实叠加优势,推动远程协作等复杂应用发展^[5]。

2 XR技术在灾难医学中的应用机制

2.1 XR技术对认知能力的影响 XR技术可影响人类的认知能力(如注意力、记忆、空间感知、学习能力等),当前XR影响认知的研究多以具身认知、情境认知或沉浸理论为框架,强调身体参与、真实情境构建

* 基金项目:湖州市科学技术局公益性应用研究项目(2023GY38)。

△ 通信作者, E-mail: 498774610@qq.com。

与环境互动的多维融合对认知建构的促进作用^[6]。王慧文等^[7]研究认为,MR 技术可将医学信息以更加立体的 3D 模式呈现,为学习者打造虚实融合、身临其境的学习环境,支持学习者通过视、听、触等多种通道的感知体验,促使其身心与环境交互,激发学习者高唤醒的积极情绪,提高学习动机、学习迁移能力,提升学习效果。HENNSEN 等^[8]开发的 AR 神经解剖学模拟平台,通过增强临场感提升学习效率并降低认知负荷。此外,王雪等^[9]通过脑电信号分析发现,VR 学习者在枕叶区域 α 、 β 及 γ 波活动显著增强,其学习效果优于传统视频组,为 XR 影响认知的神经机制探索提供了研究依据。

2.2 XR 技术对疼痛的影响 XR 技术在疼痛管理中的应用价值已获广泛认可,但其作用机制仍存在多元解释,现有机制研究主要围绕 VR 对神经调控与认知干预展开。HOFFMAN 等^[10]研究发现,VR 干预可使疼痛相关脑区(5 个关键区域)的神经活动降低超 50%,镇痛效果与中等剂量氢吗啡酮相当。MATA-MALA 等^[11]研究证实 VR 在急性疼痛管理中具有突出的注意力分散效应,VR 通过多感官刺激构建沉浸式环境,转移患者对伤害性刺激(经 A- δ 纤维和 C 纤维传导)的注意力,减缓中枢神经系统对疼痛信号的处理速度。周丽丽等^[12]认为,VR 可显著降低疼痛诱发的脑响应(N1、N2-P2、P2 和 P3),对疼痛有显著调节作用。VR 还可以通过调节神经可塑性及平衡炎症因子实现疼痛缓解^[13]。此外,疼痛感知的神经机制具有显著的情绪依赖性,研究证实消极情绪模拟可增强疼痛相关皮层活动,加剧主观痛感,VR 可促进积极情绪的产生,使患者从疼痛消极情绪中转换到愉悦的情绪状态,从而缓解疼痛^[14]。当前研究虽在神经影像学层面揭示了 VR 的镇痛特征,但其作用靶点与神经递质调控机制仍需深入探索。

2.3 XR 技术对负性情绪的影响

2.3.1 心理学机制 XR 技术结合暴露疗法与认知行为疗法,构建高仿真的安全交互环境,患者通过系统性脱敏训练逐步修正创伤性威胁认知,缓解负性情绪^[15]。XR 精准刺激控制的特性可降低对负性刺激的注意偏向,JERDAN 等^[16]证实 VR 通过视听通道占用认知资源实现急性应激缓解。张碧霞等^[17]将 VR 与正念冥想结合,通过虚拟自然场景引导患者建立沉浸式专注,显著抑制大脑对消极信息的反应性,改善焦虑抑郁症状。而 AR 允许患者与叠加到现实世界中的虚拟对象进行实时交互,通过虚拟内容增强物理世界的体验,增强患者的存在感和参与感,从而提高负性情绪的治疗效果和依从性^[18]。

2.3.2 神经生理机制 情绪本质上是大脑生化反应的综合输出,外部刺激经杏仁核、岛叶及前额叶皮层等脑区处理后,激活自主神经系统并引发生理反应链,而意识层面的认知反馈可反向调节该反应链,形成闭环情绪调控系统^[19]。有研究表明,VR 暴露疗法可抑制杏仁核过度激活,同时增强前额叶皮层对杏仁

核的调控功能,优化情绪控制通路^[20]。XR 丰富环境刺激还可提升神经元可塑性,优化情绪记忆编码过程^[21]。LO 等^[22]提出 VR 环境中的激励性机制与目标导向交互设计,可以提高痛苦耐受阈值,为临床干预提供范例。

3 XR 技术在灾难医学中的应用

3.1 XR 技术在培训中的应用 灾难具有突发性和复杂性,而传统培训(如讲座、模拟演练)虽形式多元,但存在场景还原度低、多部门协同缺失等局限^[23]。基于 XR 技术构建的灾难医学模拟系统支持安全环境下的反复演练与多人协作训练,增强医护人员心理韧性、应急能力与团队协作效率,是灾难医学教育的创新方向。

3.1.1 急救技能的培训 灾难医学技能的系统化培训可显著提升医护人员分诊、急救技术及心理干预等核心能力,在突发灾害中实现伤害最小化与生命挽救最大化^[24]。基于 XR 的沉浸式培训体系较传统模式更具优势,为提升灾难医学培训效能及救援队伍实战水平提供了重要支撑。LEE 等^[25]证实,XR 组在灾难抢救培训效果上可替代传统视频教学。ABENSUR 等^[26]研究发现,VR 模拟不仅提升学习趣味性,更有效促进个体及团队分诊及急救技能的提升。朱兆聚等^[27]研究发现,基于 AR 眼镜技术的侧脑室额角穿刺辅助系统能够显著提高手术训练效果,缩短穿刺时间,提高穿刺成功率。张世浩等^[28]研究发现,MR 可实现人机交互,对虚拟环境中设置的对象进行操作并进行操作反馈,真正实现仿真教学,在骨科手术教学中优势显著。钱小龙等^[29]认为 VR 让学习更具体验性,AR 让学习更具趣味性,MR 让学习更具交互性,XR 技术为灾难医学急救技能培训提供了新范式。

3.1.2 团队协作的训练 灾难医学作为应对突发危机的跨学科领域,其核心挑战在于实现多工种团队(医护、消防、志愿者等)在高压环境下的高效协同,尤其需克服灾区电力中断、设备短缺等资源限制对协作流程的冲击。研究显示,VR 培训显著提升救援团队响应速度与操作精度^[30],XR 平台可优化多学科团队的资源调配与沟通效能,有效增强团队协作熟练度^[31]。相对于传统案例教学,XR 的沉浸式团队训练,演练人员不仅可以看到现实的场景,还可以看到场景中各种增加的虚拟物体,增强团队协作和临场应变能力,使团队训练更加实战化。

3.2 XR 技术在救治中的应用 目前,XR 在灾难医学救治方面,主要用于术前训练、手术导航、远程医疗等。虚拟手术系统整合医学影像与 XR 技术,医务人员根据患者病情制订手术计划并进行虚拟训练,通过术中操作水平及其他指标的综合评定,提高操作技能熟练度和手术成功率。MR 技术可将医学影像精准叠加至伤者体表,帮助救援人员快速定位内部损伤,显著提升诊疗精度^[32]。手术实时指导系统依托 XR 与 5G 网络技术,救援人员通过智能眼镜实时获取伤者生命体征、医疗记录及治疗方案等信息,并连接远

程专家进行即时指导^[33]。该系统突破地理限制,实现多学科专家协同会诊与复杂病例救治决策优化,同时降低专家亲赴灾区的风险。目前,远程医疗已集成十二导联心电图、生命体征监测等设备,推动医疗资源高效配置与临床数据共享,有助于疾病管理的即时化和临床研究的进步。此外,LIER 等^[34]研究结果显示,XR 对急性痛、慢性痛及术后疼痛均有缓解作用,尤其适用于中重度疼痛,这也为急救医疗中缓解患者疼痛提供了干预策略。XR 技术凭借快速定位、实时监测与智能分析等优势,为应急救援提供高效决策支持,成为灾害医学领域极具发展潜力的关键技术。

3.3 XR 技术在心理干预中的应用 飓风、地震等大规模灾害作为特殊压力源,引发的心理创伤需引起重视,焦虑、抑郁、恐惧、创伤后应激障碍(PTSD)等心理压力显著增加精神干预需求,而 XR 技术为此提供了创新解决方案。近年来,XR 技术联合暴露疗法是心理治疗的重大突破,其疗效在焦虑症、PTSD 及恐惧症治疗中优于认知加工疗法等传统手段,尤其对慢性或难治性病例更具情绪调动优势^[35]。钟竹韵^[36]研究认为,利用交互类的新技术(AR、VR、MR)进行心理治疗或干预,可以显著提升焦虑、抑郁治疗效果。基于 MR 构建的虚拟空间可模拟恐惧情境,支持患者进行暴露训练与应对技能演练,显著改善患者恐惧情绪^[37]。DIFEDE 等^[38]采用虚拟现实暴露疗法应用于 9·11 事件幸存者的创伤治疗,验证了其对心理康复的促进作用。XR 技术通过多维度心理干预,助力受灾者摆脱心理阴影,重塑正常生活状态。

4 结语与展望

灾难医学领域在技术创新推动下持续发展,其中 XR 技术凭借其虚实融合、高沉浸性、交互性、多模式感知的核心优势,已成为灾难医学领域的重要工具。然而,其发展仍面临多重挑战:硬件性能不足(分辨率、延迟、舒适度等缺陷易引发使用疲劳)、交互感知与设备适配等技术瓶颈尚未突破;设备成本高昂制约普及推广;医疗数据安全与隐私保护机制亟待完善。基于此,未来需推动医学、工程等多学科协同创新,理论研究应聚焦救援体系优化、智慧培训模式构建及智能管理平台研发;实践层面需推进数字化移动医院建设,集成 5G、AI 等技术构建智能救援平台,推动低成本、易操作的 XR 设备研发,以实现灾难医学救援的智能化与精准化发展。

参考文献

[1] 杨薛康,杜雨婷,何亭,等.面向灾难医学救援的 Sim-Man3G 急救技能教学培训与实践[J].灾害学,2024,39(4):95-99.

[2] 江华,刘展,王凯,等.后疫情时代的智能急诊医疗体系建设展望[J].实用医院临床杂志,2023,20(3):25-28.

[3] SPIEGEL B M R, RIZZO A, PERSKY S, et al. What is medical extended reality? a taxonomy defining the current breadth and depth of an evolving field[J]. J Med Ext Re-

al, 2024, 1(1):4-12.

[4] KADRIYE O L, VITALIY P, SYEDA S F. From static web to metaverse: reinventing medical education in the post-pandemic era[J]. Ann Med, 2024, 56(1):2305694.

[5] ANDREWS C, SOUTHWORTH M K, SILVA J N A, et al. Extended reality in medical practice[J]. Curr Treat Options Cardiovasc Med, 2019, 21(4):18.

[6] 王一婷,张宏晨.基于具身认知理论的护理本科生专业技能 BCIS 训练模式的构建及实施[J].护理研究,2025,39(1):129-134.

[7] 王慧文,王星星,晏蓉,等.混合现实技术在护理领域的应用现状[J].护理学杂志,2022,37(11):110-112.

[8] HENSSEN D J H A, VAN DEN HEUVEL L, DE JONG G, et al. Neuroanatomy learning: augmented reality vs. cross-sections[J]. Anat Sci Educ, 2020, 13(3):353-365.

[9] 王雪,牛玉洁,贾薪卉,等. VR 和情绪诱发对学习影响的脑机制及优化策略研究[J].远程教育杂志,2023,41(6):84-93.

[10] HOFFMAN H G, RICHARDS T L, VAN OOSTROM T, et al. The analgesic effects of opioids and immersive virtual reality distraction: evidence from subjective and functional brain imaging assessments[J]. Anesth Analg, 2007, 105(6):1776-1783.

[11] MATAMALA-GOMEZ M, DONEGAN T, ŠWIDRAK J. VR for pain relief[J]. Curr Top Behav Neurosci, 2023, 65:309-336.

[12] 周丽丽,张娟娟,曾曼智,等.虚拟现实疗法的镇痛效果及其电生理机制:来自元分析的证据[J].科学通报,2025,70(8):1063-1078.

[13] 阮婷婷,翁明奇,吴璨,等.认知行为疗法和虚拟现实疗法干预神经性疼痛的作用及机制[J].生物化学与生物物理进展,2023,50(10):2396-2405.

[14] 张扬,林燕珊,安春燕,等.虚拟现实技术缓解急性疼痛的作用机制及应用进展[J].全科护理,2022,20(26):3651-3655.

[15] 江英婵,张勇勤,张琦,等.数字健康技术在缓解围生期女性负性情绪中应用的研究进展[J].护理研究,2024,38(17):3087-3093.

[16] JERDAN S W, GRINDLE M, VAN WOERDEN H C, et al. Head-mounted virtual reality and mental health: critical review of current research[J]. JMIR Serious Games, 2018, 6(3):e14.

[17] 张碧霞. VR 虚拟现实结合正念冥想改善诱导化疗期急性白血病患者焦虑、抑郁的效果研究[D]. 广州:广州中医药大学,2022.

[18] 卫静雯,王双文,田而慷,等.增强现实技术在心理学领域中的应用[J].精神医学杂志,2022,35(1):89-93.

[19] GUTIÉRREZ-MARTÍN L, ROMERO-PERALES E, DE BARANDA ANDUJAR C S, et al. Fear detection in multimodal affective computing: physiological signals versus catecholamine concentration[J]. Sensors (Basel), 2022, 22(11):4023.

[20] ROSÉN J, KASTRATI G, REPPLING A, et al. The effect of immersive virtual reality on proximal and conditioned threat[J]. Sci Rep, 2019, 9(1):17407.

[21] RATIGAN H C, KRISHNAN S, SMITH S, et al. A tha-

lamic-hippocampal CA1 signal for contextual fear memory suppression, extinction, and discrimination [J]. *Nat Commun*,2023,14(1):6758.

[22] LO H,ZHU M,ZOU Z,et al. Immersive and nonimmersive virtual reality-assisted active training in chronic musculoskeletal pain: systematic review and meta-analysis [J]. *J Med Internet Res*,2024,26:e48787.

[23] MAGI C E,BAMBI S,IOVINO P,et al. Virtual reality and augmented reality training in disaster medicine courses for students in nursing:a scoping review of adoptable tools[J]. *Behav Sci (Basel)*,2023,13(7):616.

[24] SU Y,WU X V,OGAWA N,et al. Nursing skills required across natural and man-made disasters;a scoping review[J]. *J Adv Nurs*,2022,78(10):3141-3158.

[25] LEE D K,IM C W,JO Y H,et al. Comparison of extended reality and conventional methods of basic life support training:protocol for a multinational, pragmatic, noninferiority, randomised clinical trial (XR BLS trial)[J]. *Trials*,2021,22(1):946.

[26] ABENSUR VUILLAUME L,GOFFOY J,DUBOIS N,et al. Collaborative virtual reality environment in disaster medicine:moving from single player to multiple learners [J]. *BMC Med Educ*,2024,24(1):422.

[27] 朱兆聚,高楚航,施家峰,等. 基于增强现实技术的侧脑室额角穿刺训练系统研究[J]. *中国生物医学工程学报*,2024,43(6):673-681.

[28] 张世浩,徐小琳,李修往,等. 混合现实技术在骨科临床技能操作教学中初步应用[J]. *中国骨与关节损伤杂志*,2025,40(1):103-105.

[29] 钱小龙,朱潇婷,黄蓓蓓. 在元宇宙中革新终身学习:基于扩展现实技术的终身学习特征、范式与实践[J]. *教育评论*,2022(4):3-12.

[30] BUGLI D,DICK L,WINGATE K C,et al. Training the public health emergency response workforce: a mixed-methods approach to evaluating the virtual reality modality[J]. *BMJ Open*,2023,13(5):e063527.

[31] LIAW S Y,SOH S L H,TAN K K,et al. Design and evaluation of a 3D virtual environment for collaborative learning in interprofessional team care delivery[J]. *Nurse Educ Today*,2019,81:64-71.

[32] MAHMUD M,SARI D,SARI D,et al. The application of augmented reality for improving clinical skills:a scoping-review[J]. *Korean J Med Educ*,2024,36(1):65-79.

[33] ŠARIĆ M,RUSSO M,KRALJEVIĆ L,et al. Extended reality telemedicine collaboration system using patient avatar based on 3D body pose estimation [J]. *Sensors (Basel)*,2023,24(1):27.

[34] LIER E J,DE VRIES M,STEGGINK E M,et al. Effect modifiers of virtual reality in pain management:a systematic review and meta-regression analysis[J]. *Pain*,2023,164(8):1658-1665.

[35] DIEMER J,KOTHGASSNER O D,HERRMANN M J,et al. VR-gestützte therapie bei angst und posttraumatischer Belastungsstörung; aktuelle Möglichkeiten und Grenzen[J]. *Nervenarzt*,2024,95(3):223-229.

[36] 钟竹韵. VR、AR、MR 技术的应用前景分析:基于焦虑症、抑郁症患者治疗[J]. *数字通信世界*,2024(2):147-149.

[37] JACOBS C,JOHNSON H,RENNIE T,et al. Human-Computer interaction and artificial intelligence:advancing care through extended mind theory[J]. *Cureus*,2024,16(12):e74968.

[38] DIFEDE J A,CUKOR J,JAYASINGHE N,et al. Virtual reality exposure therapy for the treatment of posttraumatic stress disorder following September 11,2001[J]. *J Clin Psychiatry*,2007,68(11):1639-1647.

(收稿日期:2025-07-02 修回日期:2025-09-30)

(上接第 158 页)

[41] YANG B S,ZHU Y K,ZHENG X J,et al. Vitamin D supplementation during intensive care unit stay is associated with improved outcomes in critically ill patients with sepsis:a cohort study[J]. *Nutrients*,2023,15(13):2924.

[42] WIMALAWANSA S J. Rapidly increasing serum 25(OH)D boosts the immune system,against infections-sepsis and COVID-19[J]. *Nutrients*,2022,14(14):2997.

[43] WOLF T A,WIMALAWANSA S J,RAZZAQUE M S. Procalcitonin as a biomarker for critically ill patients with sepsis:effects of vitamin D supplementation[J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*,2019,193:105428.

[44] SABOUTE M,YAVAR R,KASHAKI M,et al. Investigation of association between maternal 25-OH vitamin D serum levels and neonatal early onset sepsis in newborns by evaluating key factors[J]. *Lipids Health Dis*,2019,18(1):153.

[45] PAW D,BOKINIEC R,KOŁODZIEJCZYK-NOWOTARSKA A. High initial dose of monitored vitamin D supplementation in preterm infants(HIDVID trial):study protocol for a randomized controlled study[J]. *Nutrients*,2024,16(5):700.

[46] DUA J,JADHAV R S,BAHAL M,et al. Association between vitamin D deficiency and sepsis in term neonates;a case-control study[J]. *Cureus*,2024,16(10):e72468.

[47] YANGIN ERGON E,DORUM B A,BALKI H G,et al. A prospective cross-sectional study on the vitamin D status of neonates and the impact of neonates' standard vitamin D supplementation on neonatal morbidities[J]. *Children (Basel)*,2024,11(5):543.

[48] LI C,ZHAO K,REN Q,et al. Vitamin D supplementation during intensive care unit stay is associated with improved outcomes in critically ill patients with sepsis;a cohort study [J]. *Front Cell Infect Microbiol*,2025,14:1485554.

(收稿日期:2025-05-05 修回日期:2025-09-03)