

• 专 论 Special comment •

元宇宙在介入诊疗中的应用展望

刘一廷, 程 凌, 吴志远

【摘要】 元宇宙作为一个依托于虚拟现实(VR)、增强现实(AR)、混合现实(MR)、人工智能(AI)和5G等先进技术的虚拟共享空间,为包括医学在内的各行各业带来了革命性的改变。扩展现实(XR)和AI技术正逐渐成为科技发展的主流方向之一,其中基于影像资料的介入放射学在元宇宙医学领域展现出巨大的发展潜力。XR技术不仅在提高介入诊断效率和准确性方面具有显著作用,而且对医生临床技能训练、医患沟通、患者教育、术后康复方面以及整体医疗发展具有多维度影响。当前元宇宙医学建设仍处于初级阶段,介入医学从业者可借助XR和AI技术精进临床技能、提升医患沟通能力,从而改善医疗环境并推动学科进步,促进包括介入诊疗在内的元宇宙医学的全面发展。

【关键词】 元宇宙医学;介入放射学;扩展现实;虚拟现实;增强现实;人工智能

中图分类号:R659 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2025)-002-0123-06

The application prospect of metaverse in interventional diagnosis and treatment LIU Yiting, CHENG Ling, WU Zhiyuan. Department of Interventional Radiology, Affiliated Ruijin Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200025, China; Shanghai Jingteng Information Technology Co., Ltd, Shanghai 200241, China

Corresponding author: WU Zhiyuan, E-mail: wuzhiyuan@shsmu.edu.cn

【Abstract】 As a virtual shared space based on advanced technologies such as virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR), artificial intelligence (AI), and 5th generation mobile communication technology, the metaverse has revolutionized all walks of life, including medicine. Extended reality (XR) and AI technologies are gradually becoming one of the mainstream directions of technological development, among which interventional radiology based on imaging data has shown great potential in the field of metaverse medicine. XR technology not only plays a significant role in improving the efficiency and accuracy of interventional diagnosis, but also has multi-dimensional impacts on doctors' clinical skills training, doctor-patient communication, patient education, postoperative rehabilitation, and overall medical development. At present, the construction of metaverse medicine is still in its early stage, and the practitioners engaged in interventional medicine can use XR and AI technology to improve their clinical skills and to enhance the doctor-patient communication ability, thus, to further improve the medical environment and promote the progress of disciplines as well as the comprehensive development of metaverse medicine including interventional diagnosis and treatment.

【Key words】 metaverse medicine; interventional radiology; extended reality; virtual reality; augmented reality; artificial intelligence

1 元宇宙的概念及其与医学相关性

元宇宙是一个融合虚拟增强现实与数字现实的共享虚拟空间,为人类与虚拟世界提供交互平台。

其实现依赖于多项前沿技术,包括高速互联网、区块链、数字孪生、人工智能以及扩展现实(extended reality, XR)技术^[1]。XR技术主要包括虚拟现实

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2025.02.001

基金项目:国家自然科学基金(62173223、62472275)

作者单位:200025 上海 上海交通大学医学院附属瑞金医院放射介入科(刘一廷、吴志远);上海境腾信息科技有限公司(程 凌)

通信作者:吴志远 E-mail: wuzhiyuan@shsmu.edu.cn

(virtual reality, VR)、增强现实(augmented reality, AR)和混合现实(mixed reality, MR)。VR 创造了一个与外界隔绝的沉浸式数字环境,用户可通过头戴式设备进行探索;AR 则将虚拟信息叠加于现实世界之上;MR 融合了 AR 和 VR 的特性。目前 XR 头戴式设备有两种透视方案:Video See Through (VST)和 Optical See Through (OST),由于 VST 技术的透视效果发展渐佳,现在 VR、AR 及 MR 的概念正在被逐渐融合。另外,一直以来 AR 和 MR 的技术区分也并不清晰,同一款眼镜有时会被称为 AR 眼镜,有时则会被称为 MR 眼镜,但这并不影响实际使用,都实现了真实与虚拟对象的交互。这些技术的迅速发展正不断推动元宇宙从理论概念走向现实应用。

元宇宙的出现为多个领域带来了革新机遇,其中元宇宙医学尤为引人注目^[2]。元宇宙医学是基于 AR 和 VR 技术的医疗物联网^[3-4],其代表了新兴科技环境下传统医学的创新呈现形式,实现了人类与虚拟世界中的化身、人工智能算法以及医疗设备和设施的交互。在这一虚拟环境中,医疗专业人员可利用 AR 和 VR 技术提升临床实操技能并改善医患关系^[5-7]。医学生则可通过 VR 进行理论学习和实践演练^[8]。这种新型学习模式拓展了医学知识的获取、理解和应用途径,为提高医疗服务质量和综合实力奠定了基础。同时,患者可在此环境中体验个性化医疗服务,如基于 VR 技术设计的最优手术方案,以及根据可穿戴设备收集的健康数据而制定的个性化治疗和保健计划。

随着科技的迅速发展,介入放射学已成为继内科和外科之后的第三大医学学科,该学科主要依托高精尖影像设备进行临床实践^[9],为元宇宙技术在医疗领域的应用提供了广阔空间。本文旨在对 XR 技术,包括 VR、AR 和 MR,在介入诊疗中的应用进行介绍和展望。

2 XR 为介入诊疗提供便利、安全的策略与途径

2.1 XR 辅助介入诊疗学习

介入诊疗是一个连续性过程,涵盖从影像学数据中识别病灶到规划并实施治疗方案的各个环节,任何环节的失误都可能影响整体治疗效果。准确识别病灶是介入诊疗的基础,同时也是学习者面临的首要挑战。熟练掌握解剖学知识有助于理解和解读影像学图像,而 XR 技术为解剖学可视化和学习提

供了创新方法^[10]。Galvez 等^[11]研究表明,VR 模拟的三维空间有助于医学生理解复杂的心血管解剖结构,特别是在展示传统尸体模型难以呈现的侧支循环方面具有优势。AR 技术通过将数字信息叠加到实际空间中,提高了解剖学习效率。Ruthberg 等^[12]报道,全息解剖(HoloAnatomy,一种 AR 解剖教学平台)能在保证学习质量的同时,显著减少传统解剖教学所需时间。

传统影像学习基于对解剖学系统理解,要求学生在脑海中将解剖知识转化为影像图像解读。这一过程往往缺乏中间过渡环节,导致许多影像解剖内容难以理解^[13]。因此,影像解读能力的提升需要长期学习和实践,这是大多数放射科医师的共同经历。虽然这种方法行之有效,但耗时耗力。XR 技术通过将虚拟信息叠加于现实环境,不仅提高了学生学习主动性^[14],还创造了沉浸式、交互式的影像阅读环境。在这种虚拟空间中,影像信息以三维形式呈现,增强了复杂解剖结构的可视化效果。用户可通过旋转、放大等操作,多角度、多层面地探索解剖位置关系,从而显著提高学习效率并加深对影像解剖的理解^[15]。此外,这种虚拟阅片环境支持多种影像同步比较,已获得不同资历医生的认可^[16]。

精确、高效地从影像信息中识别病灶是介入诊疗的基础。后续治疗不仅依赖操作者的熟练度和理论知识,还需要精确的个性化手术路径设计。XR 技术除了辅助解剖学习外,还为介入学习者提供了沉浸式操作技能练习环境。这使得罕见病例可在住院医师毕业前得到充分练习,复杂手术也可进行术前模拟^[17-19],从而减少未来手术的穿刺并发症、血管损伤、对比剂用量和辐射暴露时间。在初学者培训中,VR 技术发挥了关键作用。相较于传统导管实际操作,VR 模拟训练更有利于无血管内操作经验医学生的早期学习。研究表明,VR 训练组学生掌握肾动脉插管的学习时间显著缩短^[20]。此外,VR 模拟器中获得的操作技能可有效转化为实际临床操作能力。有研究显示,使用 VR 模拟器学习 Seldinger 穿刺术的学习者在真实手术操作中表现更为出色^[21]。

与单一虚拟环境不同,AR 技术营造了三维虚拟与现实交互的环境。通过在操作过程中增加患者的实体信息,学习者可以不断试错,获得更贴近实际的操作体验,从而提升手术操作能力。一项关于 AR 导航经颈静脉肝内门腔静脉分流术(TIPS)的研究利用术前 CT 影像信息构建了包含门静脉和肝静

脉的肝脏三维模型,并整合了穿刺针的导航信息,用于指导肝脏体模和比格犬门静脉穿刺。结果显示,在 AR 引导下,从肝静脉向门静脉的穿刺所需时间较短,成功率较高,证明了 AR 引导 TIPS 穿刺的理论可行性^[22]。此外,Amiras 等^[23]报道了一种在 AR 环境中模拟 CT 引导介入操作的训练方法,该系统利用 CT 数据集生成虚拟患者,并将其投射到 AR 头戴式设备视野中,操作者将视野中的虚拟患者与现实中的体模对应,并通过语音命令生成相应穿刺层面的虚拟 CT 图像。这种方法允许在无辐射暴露的情况下训练穿刺的准确性。在参加该训练的 16 名不同资历的介入放射医师中,11 人认为该训练模式精确可靠,12 人表示经过该训练后大幅提高了其 CT 引导穿刺活检的信心。

随着设备的更新,通过专业双目立体相机拍摄的视频,可以带来沉浸式立体视频效果,利用这一技术,可以将手术室或医疗教学现场带到头戴式设备中,让医学生们身临其境地观看手术的过程或聆听专家的讲解。再配合高速网络,甚至有可能实现远程沉浸式手术直播,给远程医疗带来全新的临场体验。

2.2 XR 辅助个性化介入手术规划

随着 XR 技术的迅速发展,机器学习算法模型的不断迭代为学习者提供了高度仿真的训练环境以及即时反馈机制。这种交互式操作模式不仅能提高学习者的综合手术实际操作能力,还能为其提供个性化的术前规划和模拟机会,而术前规划是手术成功的关键因素。通过患者的术前影像资料构建“虚拟患者”,医生可在不对真实患者造成伤害的情况下进行多次操作尝试,从而将手术风险降至最低^[24]。一项将 VR 技术应用于颈动脉支架置入术的研究表明,利用患者特异性 CT 数据构建三维影像用于术前演练,参与评估的介入医生认为在术前使用 VR 技术进行个性化预演是必要的,尤其是对复杂病例^[25]。

与单一的三维重建不同,AR 技术能够实现虚拟与现实的实时联动。通过 AR 将患者的个性化影像投影到患者身上,操作者能够在患者旁更加直观地定位病灶,从而辅助设计个性化手术入路,提高诊疗效率^[14,26]。Gadodia 等^[27]报道了 AR 平台在 12 例腹部肿瘤经皮热消融病例中的应用,其中 10 例患者的 AR 引导模拟探针位置与标准影像引导的探针位置一致、在其余 2 例中,1 例因麻醉后肿瘤解剖位置改变而不适合经皮消融,另 1 例因图像处理流程

执行错误,为避免延长麻醉时间而改用标准方法进行手术。这些结果表明该技术具有临床可行性,并可能有助于改善经皮操作。此外,AR 技术也被成功应用于血管内主动脉瓣修复术的计划制定及导航辅助^[28]。MR 技术结合了 AR 和 VR 的特点,可作为一种辅助手段与传统诊疗方式结合,提高疾病诊断效率。一项针对乳腺癌患者前哨淋巴结活检的随机对照研究显示,MR 导航辅助传统染色能显著缩短检查所需时间,术后 1 个月随访发现,接受联合诊断方式的乳腺癌患者疼痛和上肢功能障碍发生率较低,且患者满意度评分较高^[29]。

介入治疗的独特性在于其影像引导下的微创特点,然而过量的辐射暴露对医生和患者的健康均有不利影响。因此,在保证手术质量的前提下,减少术中辐射剂量至关重要。一项临床前研究结果显示,术前利用 AR 技术观察肝癌磁共振图像(MRI)后进行经动脉栓塞治疗时,与对照组相比,荧光透视时间减少了 48%^[30]。

3 XR 助力患者教育、围手术期管理及康复训练

3.1 术前患者宣教

在诊疗过程中,医生扎实的临床技能及良好的医患沟通都尤为重要。有效的医患沟通犹如医生与患者之间的润滑剂,可以拉近双方关系,提高诊疗效率。因此,各种形式的 VR 技术,包括 VR 模拟患者就诊、教学课程和游戏体验等被用于提高医生的沟通技能,以促进长期的医患沟通^[7]。

在医疗实践中,对患者进行健康教育不仅可以促进医患关系的良性发展,还有利于诊疗策略的实施,是改善患者预后的潜在治疗手段。VR 技术可将生理和病理状态下的器官解剖结构可视化,为医生向患者科普和讲解介入手术步骤及机制提供沉浸式场景。在这种场景中,患者可以通过多模态影像数据,从不同角度了解并认识自身患病部位的解剖学特点以及术中可能发生的并发症。这有助于提高患者对诊疗策略的理解,缓解术前焦虑,增强医患之间的信任度^[31]。研究表明,VR 技术可直接用于缓解焦虑,甚至治疗某些精神疾病^[32]。一项回顾性随机临床试验探究了放射学检查前使用 VR 进行健康教育是否能够缓解患儿的焦虑与不适,结果显示 VR 教育组的患儿焦虑程度明显低于传统口头教育组,在检查过程中需要家长陪同的情况较少,且平均检查时间更短^[33]。此外,VR 技术也能够显著缓解

介入术中的焦虑与疼痛^[34]。一项前瞻性研究探讨了 VR 技术在经股动脉经导管主动脉瓣植入术(transcatheter aortic valve implantation, TAVI)中降低患者焦虑的作用,32 例患者被随机分为两组,并通过视觉模拟量表进行评分,结果 VR 干预组患者的 TAVI 术中焦虑水平显著低于对照组,93.8% 的患者表示愿意在下次手术时再次使用 VR^[35]。Grange 等^[36]的研究也证实,VR 技术可作为传统局麻下介入手术的有效补充,可以安全、有效地减轻患者焦虑和进行疼痛管理。

3.2 术后患者康复和医疗培训

在 VR 和 AR 技术的辅助下,长期卧床的患者能够在虚拟环境中积极参与认知和身体活动。这种应用可扩展至患者家中,从而有利于其康复进程。

除了患者康复,VR 技术在患者医疗培训方面也展现出显著优势。针对腹膜透析培训缺乏标准化的问题,研究者开发了基于 VR 的透析培训课程。研究表明,VR 技术在腹膜透析设备的安装和准备方面提供了比传统文本或视频教学更优秀和持久的学习效果,同时提高了学习者的积极性^[37]。这些进展有利于改善患者病情,优化诊疗流程,从长远来看可促进医患关系的良性循环。这些发现也表明,XR 技术在改善患者术后康复体验和医疗培训效果方面具有巨大潜力。

4 展望

AR 和 VR 技术对介入诊疗具有重要价值,为病灶识别、手术规划和患者康复管理等环节提供了沉浸式交互环境。其中,VR 技术能够将传统二维影像转化为可交互的三维形式,有利于初学者理解复杂解剖结构并练习手术操作。同时,患者也可借助 VR 技术了解手术过程,从而更深入地参与介入诊疗,减少对手术的疑虑和恐惧。AR 技术的独特优势在于其实时叠加虚拟信息的能力,为个性化术前规划与模拟开辟了新途径。在介入手术中,AR 系统的全息立体显示突破了传统二维成像的局限,使术者摆脱了观察视角与设备布局的空间制约。在严格遵循无菌操作规范的前提下,介入医师可动态优化手术视角,显著提升了消化道介入及血管内治疗等多途径手术的操作精度。在术中导航方面,AR 技术通过高精度图像配准算法,实现了术前 CT/MRI 数据与实时透视图像的精确融合。借助三维重建模型的实时投射功能,术者可以直观把握介入器械与靶向结构的立体空间关系,有效提升了手术

导航的准确性。此外,AR 技术的远程实时协作功能突破了地理限制,通过高精度虚拟手势标记系统实现专家远程指导,促进了优质医疗资源的跨区域共享,并显著降低了手术风险。

尽管 AR 和 VR 技术在临床实践中展现出巨大潜力,但其在介入放射学等领域的广泛应用仍面临诸多挑战。这些挑战主要源于当前软件和硬件的技术限制,其中最显著的是基于基准标记的配准和跟踪系统的精度问题。该方法易受患者呼吸和器官移动等生理因素影响,导致相对位移和配准误差。此外,基准标记的使用面临两难困境:过多标记可能干扰手术视野,而不足则可能降低配准精度。这些因素综合作用使 AR 技术难以满足高精度手术的要求,特别是在需要毫米级精度的操作中。因此,提高配准和跟踪系统的稳定性和精确度,同时最小化对手术过程的干扰,成为 AR 技术在临床实践中广泛应用的关键挑战。

人工智能(artificial intelligence, AI)算法的迭代推动了 AI 与 XR 技术的整合,成为推动元宇宙发展的主要趋势,为医学进步提供了有力的支撑。专用于医学图像分割的深度学习语言模型能提供高分辨率、准确的器官和血管分割,从而提高基于解剖标志的配准精度^[38]。从长远角度看,AI 可辅助 VR 技术创造更复杂、细节化的模拟场景,如传统医疗环境中罕见的高风险情况。VR 基于 AI 创建的沉浸式环境能提高学习者的决策能力、技术熟练度和应对复杂情况的综合反应能力。此外,AI 算法通过多模态数据分析获取介入诊疗过程中的患者预后相关信息,从多种数据中提取特征并构建模型,辅助医生在术中通过 AR 设备评估手术效果,如判断消融的完整性并标识不完全消融部位,或评估 TACE 栓塞治疗后肝癌患者的治疗响应。对于模型识别出的治疗敏感性较差的患者,医生能够及时实施多策略干预,降低患者肿瘤复发和转移的风险。尽管 AI 与 XR 技术在医学领域的融合展现出光明前景,AI 在诊疗决策过程中的不透明性、准确度限制和潜在伦理问题使其目前仍处于辅助地位。然而,随着训练数据规模扩大、算法持续迭代和自主学习能力提升,AI 性能正在显著提高。值得注意的是,这种技术进步并非意味着 AI 将取代医生的主导地位。相反,AI 和 XR 技术的融合正在重塑医疗实践模式:作为强大的辅助工具,其能有效减少诊疗过程中的人为错误,提高整体诊疗效率和质量。这种人机协作模式不仅优化了现有医疗流程,还为个性化医疗和精

准医学的发展开辟了新的途径。

XR 和 AI 技术正逐渐成为科技发展的主流方向之一,其中基于影像资料的介入放射学在元宇宙医学领域展现出巨大的发展潜力。介入放射学从业者可借助 XR 和 AI 技术精进临床技能、提升医患沟通能力,从而改善医疗环境并推动医学进步。同时,患者可利用这些技术增强对疾病的认知,加强康复保健技能学习,促进身体康复。当前元宇宙医学建设仍处于初期,各相关部门应加强协调合作,建立健全的伦理框架和管理机制,鼓励跨学科合作,以促进包括介入诊疗在内的元宇宙医学的全面发展。

志谢:程永德教授(上海《介入放射学杂志》社)对本文给予了悉心指导,不仅提供了清晰的分析思路和框架,在元宇宙概念界定、AR/VR/MR/XR 技术阐释以及临床应用研究等方面都提出了宝贵的建议,在此表示诚挚的感谢!

[参 考 文 献]

- [1] Wang G, Badal A, Jia X, et al. Development of metaverse for intelligent healthcare[J]. Nat Mach Intell, 2022, 4: 922-929.
- [2] 徐文博, 穆 兰. 元宇宙医学在血管腔内介入治疗中的应用现状与未来[J]. 介入放射学杂志, 2024, 33: 86-89.
- [3] Klionsky DJ, Abdel-Aziz AK, Abdelfatah S, et al. Guidelines for the use and interpretation of assays for monitoring autophagy (4th edition) [J]. Autophagy, 2021, 17: 1-382.
- [4] 孙梦婷, 杨达伟, 谢林杉, 等. 元宇宙医学在慢性疾病健康管理中应用的研究进展[J]. 复旦学报(医学版), 2023, 50: 292-295, 316.
- [5] Kanschik D, Bruno RR, Wolff G, et al. Virtual and augmented reality in intensive care medicine: a systematic review[J]. Ann Intensive Care, 2023, 13: 81.
- [6] Sandrone S. Medical education in the metaverse[J]. Nat Med, 2022, 28: 2456-2457.
- [7] Aliwi I, Schot V, Carrabba M, et al. The role of immersive virtual reality and augmented reality in medical communication: a scoping review[J]. J Patient Exp, 2023, 10: 23743735231171562.
- [8] Son H, Ross A, Mendoza-Tirado E, et al. Virtual reality in clinical practice and research: viewpoint on novel applications for nursing[J]. JMIR Nurs, 2022, 5: e34036.
- [9] 吴志远, 程永德. 数字介入——当介入放射学遇上数字医学[J]. 介入放射学杂志, 2024, 33: 1-6.
- [10] 杨佳铭, 蔡 敏, 杨荣莺, 等. 医学元宇宙场景的构建及应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2024, 26: 68-72.
- [11] Galvez R, Wallon R, Shackelford L, et al. Use of virtual reality to educate undergraduate medical students on cardiac peripheral and collateral circulation[J]. Med Sci Educ, 2021, 31: 19-22.
- [12] Ruthberg JS, Tingle G, Tan L, et al. Mixed reality as a time-efficient alternative to cadaveric dissection[J]. Med Teach, 2020, 42: 896-901.
- [13] 尉胜男, 任 静, 郭 钊, 等. 元宇宙视角下的医学影像教学模式创新探索[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39: 506-508.
- [14] Uppot RN, Laguna B, McCarthy CJ, et al. Implementing virtual and augmented reality tools for radiology education and training, communication, and clinical care[J]. Radiology, 2019, 291: 570-580.
- [15] Lang M, Ghandour S, Rikard B, et al. Medical extended reality for radiology education and training[J]. J Am Coll Radiol, 2024, 21: 1583-1594.
- [16] Mustafa AR, Moloudi F, Balasalle E, et al. Virtual reading room for diagnostic radiology[J]. Curr Probl Diagn Radiol, 2024, 53: 230-234.
- [17] Gould D. Using simulation for interventional radiology training[J]. Br J Radiol, 2010, 83: 546-553.
- [18] 沈陆恒, 刘曹锐, 杨博文, 等. 元宇宙对放射医学领域的影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2022, 42: 903-908.
- [19] 卢绮萍, 付航玮, 张晓帅. 浅谈对元宇宙理念促进中国智慧医疗创新发展的思考[J]. 中华外科杂志, 2023, 61: 353-356.
- [20] Nesbitt CI, Tingle SJ, Williams R, et al. Educational impact of a pulsatile human cadaver circulation model for endovascular training[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2019, 58: 602-608.
- [21] Johnson SJ, Guediri SM, Kilkenny C, et al. Development and validation of a virtual reality simulator; human factors input to interventional radiology training[J]. Hum Factors, 2011, 53: 612-625.
- [22] Yang J, Zhu J, Sze DY, et al. Feasibility of augmented reality-guided transjugular intrahepatic portosystemic shunt[J]. J Vasc Interv Radiol, 2020, 31: 2098-2103.
- [23] Amiras D, Hurkxkens TJ, Figueroa D, et al. Augmented reality simulator for CT-guided interventions[J]. Eur Radiol, 2021, 31: 8897-8902.
- [24] Rogers MP, DeSantis AJ, Janjua H, et al. The future surgical training paradigm: Virtual reality and machine learning in surgical education[J]. Surgery, 2021, 169: 1250-1252.
- [25] Willaert WI, Aggarwal R, Nestel DF, et al. Patient-specific simulation for endovascular procedures: qualitative evaluation of the development process[J]. Int J Med Robot, 2010, 6: 202-210.
- [26] Andrews CM, Henry AB, Soriano IM, et al. Registration techniques for clinical applications of three-dimensional augmented reality devices[J]. IEEE J Transl Eng Health Med, 2021, 9: 4900214.
- [27] Gadodia G, Yanof J, Hanlon A, et al. Early clinical feasibility evaluation of an augmented reality platform for guidance and navigation during percutaneous tumor ablation[J]. J Vasc Interv Radiol, 2022, 33: 333-338.
- [28] Rynio P, Witowski J, Kaminski J, et al. Holographically-guided endovascular aneurysm repair[J]. J Endovasc Ther, 2019, 26: 544-547.

- [29] Tao L, Feng Z, Qi Y, et al. The application of mixed reality to sentinel lymph node biopsy in breast cancer[J]. World J Surg, 2023, 47:1961-1970.
- [30] Park BJ, Hunt SJ, Martin C, et al. Augmented and mixed reality: Technologies for enhancing the future of IR[J]. J Vasc Interv Radiol, 2020, 31:1074-1082.
- [31] 吴超, 薛佩, 王佳玉, 等. 虚拟现实技术在外科医学教育实践中的应用与探索[J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22:78-81.
- [32] Toh G, Pearce E, Vines J, et al. Digital interventions for subjective and objective social isolation among individuals with mental health conditions: a scoping review[J]. BMC Psychiatry, 2022, 22:331.
- [33] Han SH, Park JW, Choi SI, et al. Effect of immersive virtual reality education before chest radiography on anxiety and distress among pediatric patients: a randomized clinical trial [J]. JAMA Pediatr, 2019, 173:1026-1031.
- [34] 薛幼华, 姚永芳, 高岚, 等. 虚拟现实技术减轻肝动脉化疗栓塞患者术中疼痛的随机对照研究[J]. 介入放射学杂志, 2024, 33:1125-1130.
- [35] Bruno R, Lin Y, Wolff G, et al. Virtual reality-assisted conscious sedation during transcatheter aortic valve implantation: a randomised pilot study[J]. Euro Intervention, 2020, 16:e1014-e1020.
- [36] Grange L, Grange R, Bertholon S, et al. Virtual reality for interventional radiology patients: a preliminary study [J]. Support Care Cancer, 2024, 32:416.
- [37] Zgoura P, Hettich D, Natzel J, et al. Virtual reality simulation in peritoneal dialysis training: the beginning of a new era[J]. Blood Purif, 2019, 47:265-269.
- [38] Isensee F, Jaeger P, Kohl S, et al. nnU-Net: a self-configuring method for deep learning-based biomedical image segmentation [J]. Nat Methods, 2021, 18:203-211.

(收稿日期: 2024-10-11)

(本文编辑: 新宇)

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告