

虚拟现实技术在结直肠癌患者围手术期护理中的应用进展

吴培芸¹, 王智健², 黄仁玲¹, 张志雄³, 胡诗雅¹, 林丰兰^{1,4*}

1. 福建中医药大学护理学院, 福建 福州 350122

2. 福建中医药大学附属人民医院 肛肠三科, 福建 福州 350003

3. 福建医科大学 临床医学部, 福建 福州 350122

4. 福建中医药大学附属人民医院 教务处, 福建 福州 350003

【摘要】 结直肠癌患者在围手术期常面临诸多挑战,如疼痛、胃肠功能障碍以及心理适应障碍等问题,这些问题严重影响了患者的术后康复进程。然而,传统围手术期护理多侧重于生理治疗和基础护理,对患者心理、认知及康复体验关注不足。虚拟现实技术作为一种新兴技术,在结直肠癌患者围手术期护理的应用中展现出了巨大的潜力和优势。基于此,本文综述了虚拟现实技术的分类,及其在结直肠癌围手术期的术前和术后阶段的应用,包括在改善患者疾病认知、心理状态及术后康复效果等方面的积极作用,同时指出虚拟现实技术在成本、安全等方面存在的问题,以期虚拟现实技术在结直肠癌患者围手术期护理中的临床应用和研究提供参考。

【关键词】 结直肠癌; 虚拟现实; 围手术期; 护理; 综述

Progress in the application of virtual reality technology in the perioperative care of colorectal cancer patients

Wu Peiyun¹, Wang Zhijian², Huang Renling¹, Zhang Zhixiong³, Hu Shiya¹, Lin Fenglan^{1,4*}

1. School of Nursing, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, Fujian, China

2. Department of Anorectal Surgery III, Affiliated People's Hospital of Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350003, Fujian, China

3. Department of Clinical Medicine, Fujian Medical University, Fuzhou 350122, Fujian, China

4. Academic Affairs Office, Affiliated People's Hospital of Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350003, Fujian, China

*Corresponding author: Lin Fenglan, E-mail: 940767034@qq.com

【Abstract】 Colorectal cancer patients often face many challenges during the perioperative period, such as pain, gastrointestinal dysfunction, and psychological adjustment disorders, which seriously affect their postoperative recovery. However, traditional perioperative care focuses on physiological treatment and basic care, and pays insufficient attention to patients' psychological, cognitive, and rehabilitation experiences. Virtual reality, as an emerging technology, shows great potential and advantages in the application of perioperative care for colorectal cancer patients. Therefore, this paper reviews the classification of virtual reality technology and its application in the preoperative and postoperative phases of perioperative colorectal cancer, including the positive effects on improving patients' disease cognition, psychological state and postoperative rehabilitation effects, and at the same time, points out the problems of virtual reality technology in terms of cost and safety, with a view to providing reference for clinical application and research on the application of virtual reality technology in the perioperative care of colorectal cancer patients.

【Key words】 Colorectal cancer; Virtual reality; Perioperative; Nursing; Review

基金项目:2021年度福建省中青年教育科研项目(JAT210139)

*通信作者:林丰兰, E-mail: 940767034@qq.com

结直肠癌是常见的消化道恶性肿瘤之一,其发病例数和死亡例数均处于较高水平。当前结直肠癌在我国恶性肿瘤中发病例数居第2位、死亡例数居第4位^[1]。手术治疗是结直肠癌的主要治疗方式,患者在围手术期常出现疼痛、胃肠功能障碍和心理适应障碍等问题,不利于其术后康复。全面且有效的围手术期护理干预对于提升手术效果、促进术后康复以及改善生活质量具有重要意义^[2]。然而,传统的围手术期护理模式多侧重于疾病的基础护理方面,对于患者心理状态、认知水平和康复体验的关注不够全面和深入,难以满足患者日益增长的多元化需求^[3]。

虚拟现实技术作为一种新兴的数字化技术,可通过创建高度逼真的虚拟环境,使用户能够身临其境,并与虚拟场景和对象进行自然交互,为结直肠癌患者在围手术期的护理提供了一种全新的、有效的方法和手段^[4]。近年来,随着虚拟现实技术的不断发展和成熟,其在医疗领域的应用逐渐受到广泛关注和重视,在疾病教育、手术模拟、康复训练等多个方面,均展现出巨大的应用潜力与发展前景。本文综述了虚拟现实技术在结直肠癌围手术期护理中的应用进展,包括术前和术后两个阶段的具体应用,同时深入探讨其在实际应用过程中面临的挑战及应对策略,旨在为虚拟现实技术在结直肠癌围手术期护理中的临床应用提供参考,推动该领域护理水平的提升。

1 虚拟现实技术的原理与分类

1.1 虚拟现实技术的原理

虚拟现实技术最早由美国 Jaron Lanier 在 20 世纪 80 年代初提出,并普及了“虚拟现实”这个词^[5]。近年来,随着移动计算能力的提高和传感器技术的成熟,越来越多的虚拟现实设备和应用出现在市场上,涉及的领域也越来越广泛,现已被应用于游戏、娱乐、教育、医疗、军事训练等领域。

虚拟现实技术的基本原理是借助计算机图形学、传感器技术、人机交互技术等多种手段,构建一个与真实世界相似或完全不同的虚拟环境。通过追踪用户的头部运动、身体姿势、手部动作等,实时调整虚拟场景的显示和交互内容,使用户产生身临其境的感觉,其建立的虚拟世界具有视听性、交互性、沉浸性等特点^[6]。

1.2 虚拟现实技术的分类

虚拟现实技术凭借其独特的沉浸感与交互

性,在结直肠癌手术相关的各个环节中发挥着重要作用。根据沉浸程度,虚拟现实主要可分为沉浸式虚拟现实、半沉浸式虚拟现实以及非沉浸式虚拟现实三大类^[7]。依据硬件设备的差异,其主要可分为基于头戴式显示器(helmet-mounted display, HMD)的虚拟现实、基于投影的虚拟现实和基于移动端的虚拟现实三大类。

基于 HMD 的虚拟现实,属于沉浸式虚拟现实中的一类,是目前最为常见的一种类型。用户可通过 HMD,如虚拟现实头盔或者眼镜等,并通过手柄、体感追踪器等多种交互设备实现与虚拟环境的高度互动,将自身的视觉和听觉完全包裹在虚拟环境中,暂时与现实世界隔离,从而实现沉浸式体验。在结直肠癌手术领域中,它有着广泛且深入的应用,如手术模拟培训^[8]、沉浸式康复治疗等。

基于投影的虚拟现实是利用投影仪将虚拟图像投射到特定的表面(如墙面、地面或特制的屏幕)上,如洞穴式虚拟现实系统,属于沉浸式虚拟现实中的一类。目前在医疗领域主要应用于慢性骨骼肌肉疼痛^[9]、自闭症^[10]等人群中。

基于移动端的虚拟现实是指通过计算机屏幕或智能手机等方式,展示虚拟环境,用户可以通过鼠标、键盘或触摸屏幕等常规输入设备,与虚拟场景进行交互,又称为窗口式或桌面式虚拟现实技术,属于非沉浸式虚拟现实。Li 等^[11]研发了一款基于虚拟现实技术的自导式认知行为疗法的应用程序,可以供结直肠癌患者在智能手机端安装应用,通过该程序可为患者提供动态高保真虚拟场景,如室内环境和阳光沙滩等,还可为患者增加虚拟护士角色,教授患者正确的认知行为,以改善患者对于疾病角色的正确认识。

2 虚拟现实技术在结直肠癌患者围手术期护理中的应用

2.1 术前护理中的应用

2.1.1 辅助情绪调适,提升术前心理韧性

术前紧张情绪是结直肠癌患者常见的心理问题之一,严重的紧张情绪可能会导致患者血压升高、心率加快、睡眠障碍等,进而影响手术的顺利进行和术后的康复效果。虚拟现实技术可以提供宁静、舒适、放松的虚拟环境,帮助患者转移注意力,并提供放松和反思训练,如引导反思、呼吸练习、播放音乐、提供趣味小游戏等,缓解患者术前

的紧张和焦虑情绪^[12]。

Ugras 等^[13]将 86 例在术前等候区即将接受结肠癌和腹壁手术的患者, 1:1 随机分为对照组和试验组, 对照组未接受任何干预, 试验组借助虚拟现实应用程序进行干预, 即让患者头戴虚拟现实设备和耳机, 观看 10 min 的水下世界、博物馆、森林等 3D 视频, 并配合轻松的背景音乐进行沉浸式体验。结果显示, 与对照组相比, 试验组在收缩压、舒张压、心率、呼吸频率以及焦虑评分方面均降低 ($P<0.05$), 由此可见, 虚拟现实能够有效缓解患者的术前焦虑, 并改善其生理应激反应。

2.1.2 模拟手术过程, 减轻焦虑程度

大多数初次经历手术的患者对手术过程不了解, 这往往会加重患者的术前焦虑和紧张情绪, 影响患者的手术耐受性和术后康复效果。虚拟现实技术可以为患者提供一个模拟手术过程的虚拟环境, 让患者在术前提前熟悉肠道准备的过程、手术的流程以及手术室的环境布局^[14], 从而减轻患者对手术的恐惧和焦虑心理, 增强患者对手术的信心和配合度。

Shepherd 等^[15]的随机对照研究中, 将 9 例结肠癌择期手术患者分为对照组 4 例和干预组 5 例, 对照组通过计算机断层扫描 (computed tomography, CT) 图像进行健康教育, 干预组则通过虚拟现实设备进行健康教育, 即让患者在术前通过虚拟现实设备观看与手术相关的 3D 解剖模型和手术步骤。结果显示, 在教育方式的选择上, 大多数患者更倾向于使用虚拟现实作为教育工具。另外, Turrado 等^[16]让结肠癌患者在术前佩戴头戴式虚拟现实设备, 沉浸式体验虚拟的手术环境和手术的各个阶段, 结果显示, 术前使用虚拟现实技术的患者, 其术后的抑郁评分、焦虑评分、特质焦虑评分均比术前基线水平有所下降, 证实了术前应用虚拟现实能够有效减轻结肠癌患者在围手术期的抑郁和焦虑。

2.1.3 增效结肠镜检查, 优化检查体验

结肠镜检查是结肠癌术前诊断的重要手段, 然而, 患者在结肠镜检查的过程中常受到焦虑、恐惧等负面情绪的困扰, 严重影响了检查体验与配合度。虚拟现实技术作为新兴的医疗辅助手段, 在结肠镜检查领域中也彰显出了一定的优势。Gwag 等^[17]让患者在检查前通过虚拟现实技术体验整个结肠镜检查过程, 研究发现, 接受虚拟现实

技术干预的患者, 其肠道准备知识评分、依从性评分、焦虑评分均明显优于接受常规教育的患者 ($P<0.05$), 表明虚拟现实技术不仅能够有效减轻患者的焦虑情绪, 还能显著提高其对肠道准备的理解和依从性。Shamali 等^[18]研究指出, 与接受常规教育的患者相比, 在结肠镜检查过程中, 接受虚拟现实技术干预患者的不适评分 ($P<0.0001$) 和疼痛评分 ($P=0.043$) 均较低; 在检查结束后, 接受虚拟现实技术干预患者未使用镇痛药物的比例则较高 (52% 比 21%, $P=0.003$), 表明虚拟现实技术干预可以显著减轻患者在结肠镜检查时的不适和疼痛, 同时减少患者对镇痛药物的依赖。

2.2 术后护理中的应用

2.2.1 赋能康复训练, 促进术后恢复

结肠癌术后患者的康复训练对于身体功能恢复、减少并发症以及提高生活质量具有关键作用。然而, 由于术后置管和对康复训练方法的不了解, 许多患者往往难以积极主动地配合康复训练, 从而影响了康复效果^[19]。虚拟现实技术可以通过创建个性化的康复训练场景和方案, 为患者提供更加生动、有趣、直观的康复训练指导, 帮助患者更好地掌握康复训练的技巧和方法, 提高患者对康复训练的依从性和积极性。此外, 《虚拟现实技术应用于感觉-运动功能康复的专家共识》指出, 虚拟现实技术可以根据患者的身体状况和康复进度, 实时调整训练的难度和强度, 并通过语音提示、动画演示等方式, 为患者提供正确的动作指导和反馈, 帮助患者纠正错误的动作姿势, 提高训练效果^[20]。

Schrempf 等^[21]的研究采用一款虚拟现实健身应用程序, 为 31 例结肠癌患者提供康复训练, 从术后第 1 天开始, 患者便可在这个虚拟场景中进行游戏化的模拟训练, 如划船和骑自行车等, 以锻炼患者的上肢、手臂、肩膀和手部的运动。研究结果显示, 83% 的患者在术后住院期间完成了被安排的虚拟现实健身游戏活动, 具有较高的可接受性; 且与干预前相比, 接受虚拟现实干预后患者的整体情绪评分、心率、收缩压和舒张压等均有所改善。由此可见, 虚拟现实健身游戏不仅能改善患者的情绪状态, 还能有效提升其生理活动水平, 促进术后恢复。

2.2.2 分散注意, 减轻疼痛

大部分肿瘤患者会经历明显的手术相关性疼

痛, 尽管临床上有多种镇痛效果显著的药物可供选择, 但这些药物同时也伴随有不良反应和依赖性的风险。目前, 虚拟现实技术已被证实能有效减轻肿瘤患者的疼痛, 并在各类外科手术相关的疼痛控制中得到应用。Groninger 等^[22]和 Viderman 等^[23]的研究表明, 虚拟现实技术能够激发视觉皮质, 并整合其他感官信息, 通过这种多感官信息的融合, 干扰患者大脑对痛觉刺激的常规感知与处理路径, 将注意力从疼痛转移到对虚拟环境的整体体验和交互上, 从而减轻患者对疼痛的感知。

Kelleher 等^[24]的研究选取了 20 例 IV 期、伴有中至重度疼痛的结直肠癌患者, 让其进行 30 min 的虚拟水下/海洋环境交互体验, 并给予视觉和听觉的刺激, 分散患者对疼痛的注意力, 研究结果显示, 在完成虚拟现实交互体验后, 有 83% 的患者对该体验表示满意; 且与体验前相比, 完成虚拟现实交互体验后患者的疼痛水平降低了 59%, 同时情绪状态提升了 70%, 患者的疼痛以及与疼痛相关的症状都得以减轻。

2.2.3 刺激脑-肠轴, 促进食欲

结直肠癌患者在术后治疗时, 常常需要通过管饲或单纯口服的方式进行肠内营养供给。这种方式缺乏食物的感官刺激, 可能影响患者的胃肠功能和营养吸收。Ammann 等^[25]发现虚拟现实技术可在不改变食物其他属性的条件下, 改变测试者对于食物的视觉感知。李卡等^[26]设计并研发了一种基于虚拟现实技术的假饲装置, 该装置提供多种舒适惬意的用餐场景, 颜色鲜艳的美食, 动听的音乐, 再通过嗅觉气味盒刺激嗅觉, 唤起患者对食物的兴趣。该研究显示这种装置能通过视嗅听觉的综合刺激影响脑-肠轴, 促进胃肠道相关生理反应及功能表达, 改善肠内营养不耐受情况。此外, Hu 等^[27]的一项元宇宙多模态康复方案提出, 元宇宙提供的虚拟现实环境可为结直肠癌患者提供饮食、行为、运动等指导, 从而有助于改善患者的营养状态和康复效果。然而, 目前该研究仍处于方案设计阶段, 其最终的研究结果尚待验证。

2.2.4 缩短感知时间, 减轻化疗焦虑

部分结直肠癌患者在术后仍需接受化疗, 以降低复发风险, 提高长期生存率。但由于化疗的时间周期长, 患者易出现恶心呕吐、厌倦、焦虑等不适。虚拟现实技术可让患者在一定程度上阻断外界的刺激, 并通过提供愉快的或有趣的刺激转移

对化疗不适症状的关注, 改变患者对于时间的感知, 提升患者对化疗的忍受度和依从性。一项关于结直肠癌术后化疗患者的研究发现, 在化疗药物输注过程中, 与未接受虚拟现实技术干预的患者相比, 接受虚拟现实技术干预的患者在时间感知上平均缩短了 11 min, 状态焦虑评分平均下降了 3.34 分 ($P < 0.05$)^[28], 表明虚拟现实技术能在一定程度上帮助患者更好地忍受化疗。

3 虚拟现实技术在结直肠癌患者围手术期中应用的挑战及其应对策略

3.1 优化成本, 降低经济负担

开发高端虚拟现实设备, 如 HMD、高性能计算机等硬件设施, 以及配套的软件系统和内容都需要持续的资金投入。同时, 设备的维护、软件升级和技术人员培训等持续成本, 都增加了医疗机构的运营负担。此外, 结直肠癌患者手术和化疗费用已经较高, 高成本的虚拟现实应用可能会给患者带来额外的经济压力。

因此, 虚拟现实技术在医疗领域的应用需要综合考量其可持续性和可及性。一方面, 要通过技术创新来降低虚拟现实设备的成本, 如开发更具性价比的硬件设施等。另一方面, 需加大对医疗机构应用虚拟现实技术的支持力度, 包括提供政策优惠、资金补贴和技术培训等, 以确保该技术能够广泛推广应用。

3.2 应对风险, 确保安全性

长时间沉浸在虚拟环境中, 可能导致患者出现现实适应障碍、方向感丧失、时间感知错乱等短暂性感知失调。同时, 当虚拟现实的立体影像失真时, 可能会引发患者强烈的视觉晕动症^[29]。Martirosov 等^[30]的研究结果表明虚拟现实的沉浸程度可能与恶心感的增加有关, 沉浸水平越高, 恶心症状越明显。此外, 虚拟现实技术以计算机为中心, 通过互联网串联用户信息, 存在信息泄露、网络安全等问题,

因此, 护理人员应监控患者的沉浸时间, 避免患者过长时间连续使用虚拟现实设备, 预防感知失调的发生。在硬件方面, 技术人员可开发更加轻便、舒适、高分辨率、低延迟的虚拟现实设备, 降低延迟和误差。同时, 也应完善用户隐私政策, 做好持续的安全检测和改进, 定期检查漏洞, 做好技术提升。

3.3 制定个性化应用模型,构建全方位评价指标

虚拟现实技术通过沉浸式体验,缓解了患者围手术期的不适症状,有效提高了患者的生活质量。但目前,对于虚拟现实技术在结直肠癌患者围手术期中的应用模型、研究评价指标较为欠缺,后续研究还可专注于:①制定个性化应用模型。不同人群对于不同虚拟场景的体验度不同,可结合不同地区、人文、风俗等制定不同的虚拟现实应用模型。②构建包含生理健康评价、心理健康评价、康复效果评价、成本效益评价、信息安全评价等在内的全方位评价专用量表或指标,并设计相应评分问卷,通过虚拟现实技术实时追踪患者评分,以评估康复效果,及时调整康复计划。

4 小结与展望

结直肠癌患者在围手术期面临诸多挑战,传统护理模式存在局限性,虚拟现实技术作为一种新型数字化技术,在结直肠癌患者围手术期护理的多个方面发挥了积极作用。在术前,虚拟现实技术革新了疾病知识教育方式,通过模拟手术过程,提高了患者对手术的理解度,减轻患者焦虑,帮助患者进行情绪调适,提升心理韧性。在术后,虚拟现实技术在康复训练、疼痛管理、营养管理及化疗护理等方面都发挥了积极作用,显著改善了患者的康复体验与生活质量。

然而,虚拟现实技术的应用也面临一些挑战,包括高昂的设备和维护成本、沉浸引发的不良反应、信息安全风险以及缺乏个性化应用模型等。此外,当前相关研究大多为小样本的随机对照试验或试验方案,缺乏长期跟踪研究的数据支持,因此,虚拟现实技术在结直肠癌患者围手术期护理中的应用效果仍有待研究者深入研究和探索。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 吴培芸,负责文章的总体构思和框架设计,并撰写了初稿;王智健,负责文章内容的审阅、修改与润色工作;黄仁玲和张志雄,参与文章内容的初步审阅和修改;胡诗雅,参与文献的整理及文章格式的调整;林丰兰,负责文章内容的最终审阅、修改与润色工作

人工智能使用声明 本文未使用任何人工智能相关工具对文字进行处理

参考文献

- [1] 闫超, 陕飞, 李子禹. 2020年中国与全球结直肠癌流行概况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2023, 45(3):221-229.
- [2] 赖淑蓉, 赖小令, 金芳. 快速康复外科在结直肠癌患者围手术期护理应用的效果研究 [J/CD]. 消化肿瘤杂志(电子版), 2019, 11(3):309-312.
- [3] 曾迎春, 镇艳, 郭巧红. 基于虚拟现实技术的癌症患者认知评估和康复系统的设计与初步应用[J]. 中国护理管理, 2020, 20(2):181-184.
- [4] 张凤军, 戴国忠, 彭晓兰. 虚拟现实的人机交互综述 [J]. 中国科学(信息科学), 2016, 46(12):1711-1736.
- [5] FAISAL A. Computer science: Visionary of virtual reality [J]. Nature, 2017, 551(7680):298-299.
- [6] 王建华, 李润美. “元宇宙”视域下基于虚拟现实技术的语言教学研究 [J]. 外语电化教学, 2022, 2022(1):40-47, 107.
- [7] ROSE T, NAM CS, CHEN K. Immersion of virtual reality for rehabilitation -Review [J]. Appl Ergon, 2018, 69:153-161.
- [8] MORI T, IKEDA K, TAKESHITA N, et al. Validation of a novel virtual reality simulation system with the focus on training for surgical dissection during laparoscopic sigmoid colectomy[J]. BMC Surg, 2022, 22(1):12.
- [9] LO H, FONG P, WANG B, et al. Clinical efficacy of virtual reality cave automatic virtual environments (cave) for chronic musculoskeletal pain in older adults: a randomized controlled trial [J]. J Am Med Dir Assoc, 2024, 26(1):105344.
- [10] PIVOTTO ID, MATIAS V, DE PAULA FERREIRA W. Cave automatic virtual environment technology to enhance social participation of autistic people: a classification and literature review [J]. Res Autism Spectr Disord, 2024, 117:102453.
- [11] LI X, WU X, CHEN C, et al. A randomized controlled trial of a self-led, virtual reality-based cognitive behavioral therapy on sick role adaptation in colorectal cancer patients: study protocol [J]. BMC Cancer, 2024, 24(1):847.
- [12] SCHREMPF MC, PETZOLD J, PETERSEN MA, et al. A randomised pilot trial of virtual reality-based relaxation for enhancement of perioperative well-being, mood and quality of life[J]. Sci Rep, 2022, 12(1):12067.
- [13] UGRAS GA, KANAT C, YAMAN Z, et al. The Effects of Virtual Reality on Preoperative Anxiety in Patients Undergoing Colorectal and Abdominal Wall Surgery: A

- Randomized Controlled Trial [J]. *J Perianesth Nurs*, 2023, 38(2):277–283.
- [14] ZHAO Y, XIE F, BAI X, et al. Educational virtual reality videos in improving bowel preparation quality and satisfaction of outpatients undergoing colonoscopy: protocol of a randomised controlled trial [J]. *BMJ Open*, 2019, 9(8): e29483.
- [15] SHEPHERD T, TRINDER M, THEOPHILUS M. Does virtual reality in the preoperative setting for colorectal cancer surgery improve patient understanding? A randomized pilot study [J]. *ANZ J Surg*, 2024, 94(3): 391–396.
- [16] TURRADO V, GUZMÁN Y, JIMÉNEZ-LILLO J, et al. Exposure to virtual reality as a tool to reduce peri-operative anxiety in patients undergoing colorectal cancer surgery: a single-center prospective randomized clinical trial [J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(7):4042–4047.
- [17] GWAG M, YOO J. Development and Effectiveness Evaluation of 360-Degree Virtual Reality-Based Educational Intervention for Adult Patients Undergoing Colonoscopy [J]. *Healthcare (Basel)*, 2024, 12(14):1448.
- [18] SHAMALI M, VILMANN P, JOHANSEN NR, et al. Virtual reality intervention to improve quality of care during colonoscopy: a hybrid type 1 randomized controlled trial [J]. *Gastrointest Endosc*, 2024, 100(5): 914–922.
- [19] 黄紫岚, 黄小恬. 胃肠道肿瘤术后患者早期下床活动影响因素的系统评价 [J/CD]. *消化肿瘤杂志(电子版)*, 2024, 16(3):374–380.
- [20] 徐建光, 王彤, 单春雷, 等. 虚拟现实技术应用于感觉-运动功能康复的专家共识 [J]. *中国康复医学杂志*, 2024, 39(4):461–470.
- [21] SCHREMPF MC, ZANKER J, ARNDT TT, et al. Immersive Virtual Reality Fitness Games to Improve Recovery After Colorectal Surgery: A Randomized Single Blind Controlled Pilot Trial [J]. *Games Health J*, 2023, 12(6):450–458.
- [22] GRONINGER H, VIOLANTI D, METE M. Virtual reality for pain management in hospitalized patients with cancer: A randomized controlled trial [J]. *Cancer*, 2024, 130(14):2552–2560.
- [23] VIDERMAN D, TAPINOVA K, DOSSOV M, et al. Virtual reality for pain management: an umbrella review [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2023, 10:1203670.
- [24] Kelleher SA, Fisher HM, Winger JG, et al. Virtual reality for improving pain and pain-related symptoms in patients with advanced stage colorectal cancer: A pilot trial to test feasibility and acceptability [J]. *Palliat Support Care*, 2022, 20(4):471–481.
- [25] AMMANN J, HARTMANN C, SIEGRIST M. Virtual reality (VR) as a new tool for nutrition and behaviour research. A review of four studies [J]. *P Nutr Soc*, 2020, 79: E273.
- [26] 李卡, 袁星竹, 胡艳杰, 等. 一款集成视听嗅觉虚拟现实假饲装置的研发设计 [J]. *四川大学学报(医学版)*, 2023, 54(4):792–797.
- [27] HU Y, PENG H, SU G, et al. Effect of a metaverse multimodal rehabilitation intervention on quality of life and fear of recurrence in patients with colorectal cancer survivors: A randomized controlled study protocol [J]. *Digit Health*, 2024, 10:1–12.
- [28] SCHNEIDER SM, HOOD LE. Virtual Reality: A Distraction Intervention for Chemotherapy [J]. *Oncol Nurs Forum*, 2007, 34(1):39–46.
- [29] 柏溢, 夏振平, 张博文, 等. 立体影像采集失真对视觉诱导晕动症的影响研究 [J]. *激光与光电子学进展*, 2024, 61(4):103–110.
- [30] MARTIROSOV S, BURES M, ZITKA T. Cyber sickness in low-immersive, semi-immersive, and fully immersive virtual reality [J]. *Virtual Real*, 2022, 26(1):15–32.

收稿日期:2025-01-09