

沉浸式虚拟现实技术在肺康复患者中应用的范围综述

李小攀, 向邱, 蒋梦瑶, 张梦

摘要: **目的** 对沉浸式虚拟现实技术在肺康复管理中应用的相关研究进行范围综述, 识别干预的具体内容、结果及局限性, 为医护人员开展相关研究及临床应用提供参考。 **方法** 系统检索国内外数据库, 检索时限为建库至 2025 年 5 月 29 日。由 2 名研究者独立筛选文献、提取数据并对纳入文献进行总结分析。 **结果** 共纳入 12 篇文献。干预设备均使用了头戴式显示器; 干预内容涵盖呼吸训练、运动康复、心理护理和健康教育等; 干预结局涉及有效性、安全性和可行性评价。 **结论** 沉浸式虚拟现实技术在肺康复中展现出良好的应用前景, 能够有效调动患者的积极性和参与度, 提高肺康复训练效果。未来需开展大样本、高质量研究进一步验证沉浸式虚拟现实技术的有效性和安全性, 推动其临床应用。

关键词: 肺康复; 虚拟现实技术; 沉浸式虚拟现实技术; 健康促进; 呼吸训练; 运动康复; 康复护理; 范围综述

中图分类号: R473.5 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2026.13.125

Application of immersive virtual reality technology in pulmonary rehabilitation: a scoping review

Li Xiaopan, Xiang Qiu, Jiang Mengyao, Zhang Meng. Department of Nursing, Tongji Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

Abstract: **Objective** To conduct a scoping review on the application of immersive virtual reality (IVR) technology in pulmonary rehabilitation, to identify the specific measures, outcomes, and limitations of the interventions, and to provide reference for future research and clinical practice. **Methods** A systematic search was carried out in domestic and international databases from inception of the database to May 29, 2025. Two researchers independently screened the literature, extracted data, and performed a descriptive analysis of the included studies. **Results** A total of 12 articles were included. All interventions used head-mounted displays. The intervention measures involved breathing training, exercise rehabilitation, psychological care, and health education. Intervention outcomes included effectiveness, safety, and feasibility. **Conclusion** IVR technology holds great promise for pulmonary rehabilitation. It can effectively enhance patient motivation and engagement, thereby improving the outcomes of pulmonary rehabilitation. Future large-scale, high-quality studies are needed to further verify the effectiveness and safety of IVR technology and to promote its clinical application.

Keywords: pulmonary rehabilitation; virtual reality technology; immersive virtual reality technology; health promotion; breathing training; exercise rehabilitation; rehabilitation nursing; scoping review

肺康复是指在充分评估患者病情基础上, 包括但不限于运动训练、教育和行为改变的综合干预措施。肺康复旨在改善慢性呼吸疾病患者的生理和心理状况, 促进其长期坚持健康促进行为^[1]。肺康复已广泛应用于间质性肺病^[2]、哮喘^[3]、支气管扩张症^[4]、新型冠状病毒肺炎^[5]等呼吸系统疾病中。传统的肺康复存在诸多局限性, 如单纯的呼吸训练缺乏趣味性, 导致患者训练积极性不高; 常规的运动训练通常缺乏实时有效的反馈机制, 无法完全满足患者个性化、多样化需求, 在一定程度上限制了肺康复的效果。当前, 虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术的应用对提升医疗护理效率展现出巨大潜力。非沉浸式 VR 技术如使用任天堂 Wii、Kinect Xbox、BioMaster 等设备, 通过体感游戏的形式进行肺康复训练, 这些训练方法虽

然有效, 但患者往往感受不到足够的沉浸感^[6-7]。沉浸式 VR(Immersive VR, IVR)技术能够提供全方位的沉浸感和高度的互动性, 患者通过外部设备将自身感官封闭在一个虚构但高度逼真的三维环境, 进行各种模拟活动。目前, IVR 技术已在认知训练^[8]、疼痛管理^[9]以及术后康复^[10]等多个医疗领域得到探索与应用, 并取得初步成果。本研究采用 Arksey 等^[11]提出的范围综述框架, 对 IVR 技术在肺康复领域的应用进行范围综述, 识别和总结 IVR 干预的具体内容、成效及局限性, 旨在为临床医护人员在肺康复领域开展 IVR 技术的应用和相关研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 明确研究问题 通过查阅文献及专科讨论, 确定具体研究问题: ①IVR 技术应用于患者肺康复训练有哪些形式? ②IVR 技术用于患者肺康复训练的主要内容是什么? ③IVR 技术用于患者肺康复训练的效果如何?

1.2 文献纳入与排除标准 纳入标准: ①研究对象为需要进行肺康复训练的呼吸系统疾病患者; ②干预措施为 IVR 技术, 是指通过头戴式显示器或洞穴式

作者单位: 华中科技大学同济医学院附属同济医院护理部(湖北 武汉, 430030)

通信作者: 向邱, 18010470@qq.com

李小攀: 女, 硕士, 主管护师, 20618942@qq.com

科研项目: 华中科技大学同济医学院附属同济医院科研基金护理专项(2024D09)

收稿: 2026-01-15; 修回: 2026-04-12

立体显示装置等设备,让用户完全沉浸在计算机生成的虚拟环境中的技术;③研究类型为原始研究,包括随机对照试验、类实验研究、横断面研究、队列研究等。排除标准:①非中、英文文献;②研究计划书、综述、系统评价、个案报告、指南和意见;③无法获取全文;④重复发表和质量较低的文献。

1.3 文献检索策略 系统检索 PubMed、Embase、Web of Science、IEEE Electronic Library、中国知网、维普网、万方数据知识服务平台和中国生物医学文献数据库等国内外数据库。检索时限为建库至 2025 年 5 月 29 日,限制语言为中文或英文。采用主题词与自由词结合的方式进行检索。中文检索词:虚拟现实,虚拟仿真,沉浸式虚拟现实,可穿戴式头盔,头戴式显示器,洞穴式立体显示装置,大型环幕系统,虚拟情景,虚拟环境,情景互动,虚拟游戏,沉浸式游戏;肺康复,呼吸康复。英文检索词:virtual reality, VR, immersive virtual reality, IVR, virtual simulation, immersive multimedia, virtual environment, interactive game, head-mounted display, HMD, VR headset, cave automatic virtual environment, HTC Vive; exercise, physical fitness, rehabilitation, physical therapy, physical exertion, activity, muscle training, kinesiotherapy, occupational therapy; lung disease, chronic obstructive lung disease, COPD, interstitial lung disease, asthma, cystic fibrosis, bronchiectasis, lung cancer。数据库以 PubMed 为例,文献检索策略见附件 1。

1.4 文献筛选 将检索到的文献题录导入 End-NotesX9 软件,去除重复文献,再由 2 名经过循证医学系统培训的研究者根据纳入及排除标准独立筛选文献,根据文献题目和摘要进行初筛,再通过阅读全文进行复筛。若存在分歧,则与第 3 名研究者进行讨论,确定最终纳入文献。

1.5 数据提取及分析 由 2 名研究者独立对纳入文献进行数据提取,并进行交叉核对,如果遇到分歧,则与第 3 名研究者进行讨论确定。提取内容包括作者、来源国家、研究类型、研究对象、样本量、实验组 and 对照组干预方法、干预场所、IVR 设备、干预内容、干预时间、结局指标、效果评价。

2 结果

2.1 文献检索结果 初步检索获得文献 1 607 篇,删除重复文献后获得文献 1 209 篇,阅读题目和摘要,剔除与主题无关的文献后剩余 132 篇,排除研究对象不符 13 篇、研究类型不符 21 篇、研究内容不符 51 篇、无法获取全文 30 篇、重复发表 5 篇,最终纳入 12 篇文献^[12-23]。其中,英文文献 10 篇,中文文献 2 篇。文献筛选流程见附件 2。

2.2 纳入文献的基本特征 见表 1。

2.3 IVR 干预内容

2.3.1 干预设施 纳入的 12 项研究均使用头戴式显示器(Head-Mounted Display, HMD),多数为 VR 一体机,少数为 PC 驱动式虚拟现实(PC-based Virtual Reality, PCVR)。VR 一体机是基于移动端处理器,PCVR 需要外接计算机,通过计算机计算数据和渲染图形,再由数据线传到头戴式显示器。此外,还有研究配备有功率自行车^[15,19-20]、操纵手柄^[18,20,22]、生理传感器^[12,17-19]、平衡板^[17]等。

2.3.2 干预要素 目前基于 IVR 技术的肺康复方案在内容、形式、频率、持续时间等方面尚不统一。①干预地点。多数研究是在医院开展^[13-21,23],少数研究居家开展^[12,22]。②干预内容。涉及到运动康复^[15,20]、心理护理^[13,16,21]、健康教育^[17,22]、呼吸训练^[18]和综合性干预^[12,14,19,23]。③干预形式。有运动训练^[15,17,19-20,22-23]、沉浸式观看视频或图片^[12-13,16-17]、游戏^[14,21,23]、正念冥想^[14,16]、答题^[22]、呼吸训练^[18-19,23]、生活场景模拟^[23]和虚拟人监督^[12]等。④干预时间。干预频率、每次干预时间及持续时间异质性较大。

2.4 IVR 干预结果

2.4.1 结局指标 纳入研究所选取的干预结局指标比较广泛,客观指标包括①生命体征^[12,15-16,20]:血压、心率、血氧饱和度、呼吸频率。②肺功能指标^[13,18-21,23]:如 FVC、第 1 秒用力呼气容积(Forced Expiratory Volume in one second, FEV1)、FEV1/FVC、功能残气量(Functional Residual Capacity, FRC)、呼吸储备等。③运动表现评估:如 6 min 步行试验^[13,17,19,23]、30 s 坐立测试^[20]等。主观指标包括:①身体功能方面评估。如慢性阻塞性肺疾病评估测试(COPD Assessment Test, CAT)^[12]、Borg 自感劳累表^[15-17,20,23]、患者健康问卷(Patient Health Questionnaire-9, PHQ-9)^[12]、埃德蒙顿症状评估量表(Edmonton Symptom Assessment System, ESAS)^[16]、疼痛视觉模拟评分法(Visual Analogue Scale, VAS)^[21]、生活质量^[23]等。②心理方面评估。广泛性焦虑障碍量表(Generalized Anxiety Disorder 7-item scale, GAD-7)^[12]、医院焦虑抑郁量表(Hospital Anxiety and Depression Scale, HAD)^[13,16]、压力感知量表(Perceived Stress Scale, PSS)^[13,19]等。③积极性方面评估。如内部动机问卷(Intrinsic Motivation Inventory, IMI)^[15]、患者积极度量表(Patient Activation Measure, PAM)^[12]。④其他项目。如眩晕程度评分^[15]、不良反应发生情况^[17]、满意度^[14,17]、感知益处^[14]、健康教育内容掌握评估^[17,22]等。

2.4.2 效果评价 基于 IVR 技术的肺康复的效果评价主要包括 3 个方面:①有效性。a. 身体功能状态,7 项研究^[12,16,18-21,23]均显示出积极效果,包括可增强患者的呼吸肌的肌力和耐力,有效改善呼吸功能,

缓解气促症状,提高运动耐受性,减轻呼吸困难症状,改善与健康有关的生活质量。1 项研究^[19]指出基于 IVR 的肺康复可改善患者的运动表现,但对肺功能无改善作用;b. 心理状况 3 项研究^[12-13,16]显示改善心理健康,如增强患者信心、缓解孤独感、焦虑抑郁水平

等。②安全性^[15,17]。少数患者在干预过程中有报告发生不良反应,如头晕、恶心等症状。③可行性^[14,17]。患者普遍对 IVR 技术感知益处较高,满意度较高,从而提高患者参与康复治疗的积极性和依从性。

表 1 纳入文献的基本特征

作者	国家	研究类型	研究对象	样本量	对照组干预方法	试验组干预方法				干预时间	结局指标
						干预技术	干预场所	IVR 设备	干预内容		
Jung 等 ^[12]	英国	混合方法研究	COPD 患者	10	无	基于 VR 技术的肺康复软件	居家	Pico 头戴设备、Nonin3150 腕部脉搏血氧仪	①健康教育:播放高清视频。②康复训练:由虚拟教练以 3D 化身形式带领运动	20 min/d, 8 周	心率、氧饱和度、呼吸困难程度、疲劳、焦虑抑郁、运动耐力、患者积极度、CAT
Rutkowski 等 ^[13]	波兰	随机对照试验	COPD 患者	25/25	舒尔茨自生训练	IVR	医院	VRTierOne 头戴设备	使用基于 Ericksonian 心理治疗方法构建的以虚拟治疗花园为特色的 VR 软件	15~30 min/次, 5 次/周, 2 周	肺功能、压力、焦虑抑郁、6 min 步行试验
Kolbe 等 ^[14]	美国	横断面研究	新型冠状病毒肺炎患者及医务人员	13 例患者/11 名医务人员	无	VR 临床工具	康复病房	AppliedVR 头戴设备	①在沉浸式自然场景中引导冥想。②在虚拟情景中,选择探索自然或户外。③认知刺激游戏(如虚拟球瞄准目标)	10 min/次	满意度、感知益处
Hoeg 等 ^[15]	丹麦	自身前后对照	COPD 患者	3	无	在 HIIT 运动中使用 VR 头盔	医院门诊健康中心	OculusRift 头戴设备、高端游戏电脑、运动自行车	在大型三维自然场景的虚拟环境中骑行	14.5 min/次, 12 次	心率、呼吸困难、疲劳、内部动机、眩晕
Rodrigues 等 ^[16]	巴西	随机对照试验	新型冠状病毒肺炎患者	22/22	常规治疗	VR	医院	Multilaser 头戴设备	使用 360°视频,向患者展示风景图片及正念技巧	10 min/次	生命体征、呼吸困难、疲劳、焦虑抑郁
郑佳莉等 ^[17]	中国	随机对照试验	早期肺癌胸腔镜手术患者	60/60	常规围手术期肺康复健康教育	IVR 肺康复健康教育	胸外科 VR 健康教育康复室	VR 眼镜、大屏、可穿戴式无线传感器,无线空间行走平衡板	佩戴 VR 眼镜 720°沉浸式观看并同步进行相关呼吸训练及大关节活动锻炼	10~15 min/次, 2 次/d, 入院日至出院前 1 d	健康教育内容掌握情况、训练完成情况、健康教育满意度、呼吸困难、疲劳、生活自理能力、安全性、6 min 步行试验
Shi 等 ^[18]	中国	类试验研究	COPD 患者	5/5	常规呼吸训练	基于 VR 技术的生物反馈呼吸康复训练系统	实验室	HTCVivepro 2 头戴设备、操纵手柄、呼吸数据传感器、电脑	在 2 个虚拟情景下(“吹蜡烛”和“吹蒲公英”)进行呼吸训练	当 FVC 达到设定阈值时,干预结束	肺功能、训练感受
Rutkowski 等 ^[19]	波兰	随机对照试验	新型冠状病毒肺炎后遗症患者	18/14	传统肺康复方案	基于 VR 功能的肺康复计划	医院	VRTierOne 头戴设备、COSMED 功率自行车、生理传感器	虚拟场景在 1 个阳光充足的小岛,患者在自行车上进行运动训练、呼吸训练、健身运动、抗阻训练和放松	5 次/周, 3 周	肺功能、压力水平、6 min 步行试验
Stavrou 等 ^[20]	希腊	前后对照研究	新型冠状病毒肺炎后遗症合并轻度认知障碍患者	20	无	基于 VR 系统的运动	医院	MetaQuest 头戴设备、操纵手柄、电脑、固定座式自行车	提供 3 种虚拟情景(森林、海滩,或雪景),患者可以自由选择骑行时想听到的音乐和激励语	骑行速度 15~20 km/h, 每 45 s 记录 1 次速度与骑行距离	肺功能、身体成分测量、生命体征、睡眠质量、呼吸困难、疲劳、运动耐力
Nambi 等 ^[21]	沙特阿拉伯	随机对照试验	肺部烧伤合并急性呼吸衰竭患者	30/30	理疗+渐进性肌肉放松术	VR 分散注意力	医院康复病房	OculusRift 头戴设备,电脑	FujjiMysticalJourney 游戏,是 1 个平静、空灵的航行,穿越了几个超现实的、自然的地点	15 min/次, 5 次/周, 4 周	疼痛评分、肺功能

续表 1 纳入文献的基本特征

作者	国家	研究类型	研究对象	样本量	对照组干预方法	试验组干预方法				干预时间	结局指标
						干预技术	干预场所	IVR 设备	干预内容		
Gabriel 等 ^[22]	美国	混合方法研究	COPD 患者	9/9	运动组	教育组	居家	OculusQuest 一体机、操纵手柄	① 健康教育。② 运动;使用 VR 头戴式设备和手柄,完成训练	未报告	健康素养、肺康复健康教育知识答题
熊小平 等 ^[23]	中国	随机对照试验	AECO-PD 患者	62/58	常规肺康复健康教育	VR 肺康复健康教育	医院病房	HTCVive 头戴式系统	① 了解 IVR 技术肺康复健康教育的基本流程和注意事项。② 模拟不同的呼吸技巧场景。③ 引入力量训练游戏和模拟日常生活场景	14 d	6 min 步行试验、疲乏、FVC、呼气峰值流量、动脉氧分压、动脉血二氧化碳分压、峰值摄氧量、呼吸储备、生活质量

注:HIIT,高强度间歇训练(High Intensity Interval Training);FVC,用力肺活量(Forced Vital Capacity)。

3 讨论

3.1 IVR 技术在肺康复中的干预内容丰富,形式多样 本研究结果显示,IVR 技术在肺康复领域的干预内容主要涵盖运动康复、呼吸训练、心理护理及健康教育,干预形式呈现多样化与个性化特征。在干预设备方面,所有研究均使用头戴式显示器,以 OculusQuest、Pico 等一体机设备为主,部分研究配备功率自行车、操纵手柄、生理传感器等增强交互性。一体机因便携、操作简便,更适合居家康复;少数研究采用 HTC Vive、Oculus Rift 等 PCVR 设备,PCVR 虽渲染效果更优,但对场地及设备要求较高,目前仍以医院场景为主。在干预要素方面,当前 IVR 肺康复仍以医疗场景为主导。干预时间异质性显著,尚未形成基于证据的康复处方。干预形式包括运动训练、沉浸式视频、虚拟游戏、正念冥想、呼吸任务(如“吹蜡烛”“吹蒲公英”)、生活场景模拟等,但多数研究仅为单一维度的功能模拟,缺乏与肺康复核心行为目标(如呼吸控制、能量节省、症状自我管理)的深度耦合。另外,2 项研究^[13-14]明确报告采用理论框架构建干预内容,未来应加强基于行为改变框架的干预设计。

3.2 IVR 技术在肺康复中的有效性 IVR 干预在改善运动耐力、减轻呼吸困难感知、提升心理状态及康复动机方面均显示出积极成效。在身体功能状态方面,IVR 可改善 6 min 步行试验、降低 Borg 劳累评分,提示 IVR 可通过沉浸式体验与实时反馈增强患者对运动的耐受性与自我调节能力。部分研究^[18-19,23]未观察到肺功能指标的显著改善。这提示 IVR 的优势更多体现在功能适应、行为坚持与症状感知层面。在心理状态方面,IVR 可降低焦虑、抑郁及压力感知水平,通过转移注意力与情感支持缓解负性情绪。此外,患者积极度量表、内部动机问卷得分显著提升^[12,15],可见 IVR 在激发康复动机、促进行为坚持方面具有独特优势。在康复积极性方面,2 项研究^[17,22]报告患者对 IVR 健康教育系统的满意度与内容掌握度显著提高,学习热情与康复信心明显增强。

IVR 通过游戏化设计、沉浸式交互、即时反馈等机制有效激发了患者的参与热情与坚持意愿。

3.3 IVR 技术在肺康复中的安全性 本研究中,2 项研究^[15,17]报告个别患者出现头晕、恶心或疲乏等不良反应,停止后好转,再次使用时未再发生。提示在合理设置运动强度、控制单次时间、优化设备佩戴舒适度的前提下,IVR 肺康复具有较好的耐受性与安全性。但目前不良事件记录标准尚不统一,未来应引入患者报告结局及标准化不良事件评估工具,提升安全性数据的可比性。

3.4 IVR 技术在肺康复中的可行性 IVR 技术在肺康复患者中显示出较高的接受度与感知获益。Gabriel 等^[22]通过质性访谈发现,COPD 患者对 IVR 健康教育系统的交互界面、内容呈现方式及自主控制性给予积极评价;郑佳莉等^[17]研究中,患者对 720°沉浸式观看及同步训练模式接受度良好;Jung 等^[12]开展的居家 IVR 肺康复研究中,患者设备操作自主完成率较高,表明基于一一体机头戴显示器的家庭康复方案具备初步可行性。然而,居家及社区场景下的可行性证据仍较薄弱,设备可及性、远程监管机制、长期依从性维持等问题亟待解决。

3.5 小结与展望 本研究系统梳理了 IVR 技术在肺康复患者中应用的干预内容、结局指标及效果评价。初步验证其在改善运动耐力、缓解呼吸困难、提升心理状态及康复动机方面的有效性,且具有良好的安全性与可行性。IVR 技术在肺康复临床推广中需关注设备适配性、患者耐受性及感染控制等问题。老年或衰弱患者宜选用轻量化、操作简便的一一体机设备,初次使用应从短时、低强度开始,避免高强度、多轴旋转类虚拟任务。干预过程中应密切监测生命体征,出现胸痛、严重呼吸困难或生命体征异常时立即终止训练。IVR 设备应实行一人一用一消毒,降低医院感染风险。

IVR 在肺康复领域的研究仍处于起步阶段。当前研究存在以下局限:①研究病种集中于 COPD 及术后康复群体,对支气管扩张、间质性肺病等覆盖不

足;②干预场景以医院为主,居家及社区证据匮乏;③结局指标异质性高,难以形成循证实践指南;④卫生经济学评价缺失,限制其纳入临床路径与医保支付体系。未来可基于具身认知理论探讨虚拟身体动作对呼吸感知的重构机制,或基于自我决定理论检验自主性、胜任感、关系感在康复行为维持中的中介作用;开展多中心随机对照试验研究,推动干预方案标准化与实施性研究;明确 IVR 肺康复的成本效益优势,为其临床转化提供经济学依据。

附件 1 PubMed 检索策略
附件 2 文献筛选流程
请用微信扫码查看



参考文献:

[1] Rochester C L, Alison J A, Carlin B, et al. Pulmonary rehabilitation for adults with chronic respiratory disease: an official American Thoracic Society Clinical Practice guideline[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2023, 208(4): e7-e26.

[2] Dowman L, Hill C J, May A, et al. Pulmonary rehabilitation for interstitial lung disease[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 2(2): CD006322.

[3] Osadnik C R, Gleeson C, McDonald V M, et al. Pulmonary rehabilitation versus usual care for adults with asthma[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2022, 8(8): CD013485.

[4] Patel S, Cole A D, Nolan C M, et al. Pulmonary rehabilitation in bronchiectasis: a propensity-matched study [J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(1): 1801264.

[5] Nopp S, Moik F, Klok F A, et al. Outpatient pulmonary rehabilitation in patients with long COVID improves exercise capacity, functional status, dyspnea, fatigue, and quality of life[J]. *Respiration*, 2022, 101(6): 593-601.

[6] 杨梦,林韦彤,马航霞,等. 虚拟现实技术在慢性阻塞性肺病患者肺康复中的研究进展[J]. *中国护理管理*, 2022, 22(5): 796-800.

[7] 陈霞丽,邢利民,凡颖,等. 虚拟现实康复训练在慢性阻塞性肺病患者中应用的系统评价[J]. *中华护理杂志*, 2023, 58(2): 224-231.

[8] Corrigan N, Pasarelu C R, Voinescu A. Immersive virtual reality for improving cognitive deficits in children with ADHD: a systematic review and meta-analysis[J]. *Virtual Real*, 2023, 27(4): 3545-3564.

[9] 张媛,郭锦丽. 沉浸式虚拟现实技术在创面操作性疼痛管理中的应用进展[J]. *中华护理杂志*, 2023, 58(2): 243-249.

[10] 王丽娜,来李鑫,李慧林,等. 虚拟现实技术在乳腺癌术后康复训练中的应用进展[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(6): 15-18.

[11] Arksey H, O' Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework[J]. *Int J Soc Res Methodol*, 2005, 8

(1): 19-32.

[12] Jung T, Moorhouse N, Shi X, et al. A virtual reality-supported intervention for pulmonary rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease: mixed methods study[J]. *J Med Internet Res*, 2020, 22(7): e14178.

[13] Rutkowski S, Szczegieliński J, Szczepańska-Gieracha J. Evaluation of the efficacy of immersive virtual reality therapy as a method supporting pulmonary rehabilitation: a randomized controlled trial[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(2): 352.

[14] Kolbe L, Jaywant A, Gupta A, et al. Use of virtual reality in the inpatient rehabilitation of COVID-19 patients[J]. *Gen Hosp Psychiatry*, 2021, 71: 76-81.

[15] Høeg E R, Bruun-Pedersen J R, Serafin S. Virtual reality-based high-intensity interval training for pulmonary rehabilitation: a feasibility and acceptability study[C]. 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). Lisbon, 2021: 242-249.

[16] Rodrigues I M, Lima A G, Santos A, et al. A single session of virtual reality improved tiredness, shortness of breath, anxiety, depression and well-being in hospitalized individuals with COVID-19: a randomized clinical trial[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(5): 829.

[17] 郑佳莉,张桃,吴晓,等. 沉浸式虚拟现实技术在肺癌症患者肺康复健康教育中的应用[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(19): 96-99.

[18] Shi L J, Liu F, Liu Y, et al. Biofeedback respiratory rehabilitation training system based on virtual reality technology[J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23(22): 9025.

[19] Rutkowski S, Bogacz K, Rutkowska A, et al. Inpatient post-COVID-19 rehabilitation program featuring virtual reality: preliminary results of randomized controlled trial [J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1121554.

[20] Stavrou V T, Vavougios G D, Kalogiannis P, et al. Breathlessness and exercise with virtual reality system in long-post-coronavirus disease 2019 patients [J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1115393.

[21] Nambi G, Alghadier M, Ebrahim E E, et al. Role of virtual reality distraction technique to improve chest burns with acute respiratory distress syndrome (ARDS) following smoke inhalation in middle-aged adults: a randomized controlled study[J]. *Burns*, 2023, 49(7): 1643-1653.

[22] Gabriel A S, Tsai T Y, Khakli T, et al. Patient perceptions of a virtual reality-based system for pulmonary rehabilitation: a qualitative analysis[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2023, 305: 406-409.

[23] 熊小平,姜霞,谷申森. 基于沉浸式虚拟现实技术肺康复健康教育对 AECOPD 患者运动能力及心肺功能的影响[J]. *湖南师范大学学报(医学版)*, 2024, 21(6): 69-73.