

• 综 述 •

虚拟现实技术在肌肉骨骼疾病康复中的应用进展

蒋思琪¹,黄欢欢¹,余馨雨¹,罗欣¹,陈丽娟¹,赵林博¹,王琦²,肖明朝³,赵庆华¹

(1.重庆医科大学附属第一医院 护理部,重庆 400016;2.重庆医科大学附属第一医院 信息中心;
3.重庆医科大学附属第一医院 泌尿外科)

全球疾病负担报告^[1]显示,约有 17.1 亿人患有肌肉骨骼疾病。在过去 30 年里,肌肉骨骼疾病的康复需求大幅增长,每 3 人中就有 1 人需要接受康复治疗^[2]。康复治疗对肌肉骨骼疾病而言尤为重要,可以有效减轻肌肉骨骼疾病患者的疼痛、增强其肌肉力量,进而改善身体活动能力,提高生活质量^[3]。虚拟现实(virtual reality, VR)技术以计算机为载体,结合人工智能、传感器、计算机仿真等多种技术生成虚拟环境,为用户提供多信息、三维动态、交互式的虚拟现实体验^[4]。VR 技术作为非药物干预的方法之一,近年来逐步被用于肌肉骨骼疾病康复中。我国工信部等五部门联合印发的《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022—2026 年)》也特别强调^[5],要推动虚拟现实在康复护理等场景应用落地。因此,本文拟从 VR 技术概述、VR 在肌肉骨骼疾病中的应用场景、适用人群、应用方法和效果展开综述,提出面临的挑战及展望,以期为我国临床医护人员在肌肉骨骼疾病康复中进一步推广应用该技术提供参考。

1 概述

VR 技术的起源可以追溯到 20 世纪 60 年代,电影摄影师 Morton Heilig 发明了一套蕴含 VR 技术思想理论的多通道仿真体验系统 Sensorama^[6]。“virtual reality”一词在 1987 年被首次提出^[7]。VR 的特征被 Burdea 等^[6]概括为经典的 3I:immersion(沉浸性)、interaction(交互性)和 imagination(构想性),沉浸性指用户身处于虚拟环境中,有一种身临其境的感觉;交互性指用户可以通过传感器等设备与虚拟环境进行人机交互;构想性指用户可以在虚拟环境中获得的新知识,对现实环境进行改造,

对其未来进行想象。

2 VR 技术在肌肉骨骼疾病康复中的应用现状

2.1 应用场景

2.1.1 评估关节功能 肌肉骨骼疾病是影响肌肉、关节、肌腱、骨骼、软骨、韧带和神经等的一组疾病^[8]。关节活动度(range of motion, ROM)是评估关节功能的重要指标,常用于制订康复计划和监测康复效果。量角器和电子角度计等测量工具具有体积小、便携、成本低等优点,是临床应用最广泛的测量工具之一,但其测量可重复性较差^[9]。交互式 VR 将传统的物理评估转化为有趣的游戏形式,如通过头部运动或手腕伸曲来控制虚拟元素,从而评估 ROM,经验证,该技术对慢性颈部疼痛和桡骨骨折患者的 ROM 评估具有较高的有效性和可靠性^[10]。

2.1.2 辅助康复训练 肌肉骨骼疾病不良后果严重,影响患者日常生活功能,与老年人跌倒、失能、骨折等不良事件密切相关^[11]。康复训练包括被动训练和主动训练,能够减缓疾病进展,降低残疾程度^[12]。VR 技术通过游戏化训练、模拟现实任务等方式增强功能能力、减轻疾病症状,为肌肉骨骼疾病的康复训练提供了新的手段^[13]。除了对身体有益外,VR 辅助的康复训练较传统康复更能提高患者的锻炼兴趣和动机^[14]。然而,目前的文献证据不足,因此,需要更多的研究来探讨 VR 辅助康复训练在肌肉骨骼康复中的效果。

2.1.3 优化疼痛管理 疼痛是肌肉骨骼疾病的常见症状之一,其管理策略包括药物和非药物干预,其中非药物干预主要包括物理治疗、分散注意力、健康教育等。作为非药物干预的新兴手段,VR 技术在疼痛管理中展现出巨大潜力,但其影响疼痛的机制仍需深入探究^[15]。已有研究^[16]证实,交互式 VR 在减轻疼痛程度方面的效果优于传统康复,而非沉浸交互式 VR 在改善心理困扰方面的效果与传统康复相似,因此作者提出,交互式 VR 可作为一种选择性或替代性的康复手段,以缓解慢性肌肉骨骼疾病患者的疼痛与心理困扰。

【收稿日期】 2023-03-19 【修回日期】 2024-01-11

【基金项目】 重庆市科技局 2021 年度大健康领域重点研发项目(CSTC2021jscx-gksb-N0021);重庆市教委“成渝地区双城经济圈建设”科技创新项目(KJCX2020018);重庆医科大学研究生智慧医学专项研发计划(YJSZHYX202206,ZHYX202128)

【作者简介】 蒋思琪,硕士在读,护士,电话:023-89012206

【通信作者】 赵庆华,电话:023-89012206

2.2 适用人群 一项荟萃分析^[17]从活动度、力量、功能、平衡、步态和疼痛等方面评估了VR在骨科康复中的有效性,分析发现,现有数据为VR在慢性颈部疼痛及肩夹挤症候群的应用上提供了有力支持,同时表明其可作为类风湿性关节炎、膝关节炎、前交叉韧带重建术后及踝关节不稳的有效康复手段。但该研究在社会心理层面的评估上有所欠缺。因此,为更全面地了解VR在肌肉骨骼康复中的适用人群,未来需要系统评价VR在社会心理层面的影响。

2.3 应用方法 考虑到VR系统的复杂性,应由具备VR和肌肉骨骼疾病专业知识的医护人员对患者进行运动指导。应用前,医护人员需做好评估和解释工作,教会患者及家属相关操作;同时,还需排除不适合的运动,并根据患者的病情、年龄、活动能力和偏好等因素选择合适的锻炼游戏。在应用过程中,医护人员可根据患者的具体表现和需要灵活调整参数,如游戏时长、关卡复杂度等,以实现个性化、系统化的康复目标。此外,应对患者进行动态评估和总结,处理运动中遇到的各种问题,并获取患者及家属的反馈意见,及时调整康复方案。

2.3.1 Kinect系统 Kinect系统由虚拟环境、传感器和监视软件包等组成。Kinect传感器具有语音识别、手势识别、人脸识别等多种功能,其最大特点是将人机互动的理念完全展现出来,主要利用实时捕捉和渲染数据,侦测人体骨骼信息并进行骨骼追踪,因此患者无需使用其他设备,但当肢体运动出现重叠时,动作捕捉会产生一定误差^[18]。在使用过程中,患者需模拟虚拟化身的动作,并保持自身动作的角度、速度和流畅度与虚拟形象高度一致,以提高得分,从而引导患者进行正确的康复训练^[19]。

2.3.2 Nintendo Wii系统 相较于Kinect,Wii的设备构造更为简洁,主要由主机和手柄运动传感设备组成。Nintendo Wii系统包括Wii Sports以及Wii Fit等,Wii Sports提供了网球、棒球、保龄球、高尔夫球和拳击5种运动,而Wii Fit则展了锻炼游戏的种类,包括瑜伽、肌肉力量训练、平衡游戏和有氧运动四大类别^[20]。使用时,患者站在平衡板上,其体重和重心的变化由压力传感器检测;患者通过改变重心位置控制虚拟环境的变化,同时通过手柄运动传感器操控屏幕中角色的动作,使得患者在虚拟环境中的运动体验更趋近于现实生活中的各类运动项目。

2.3.3 其他系统 与Kinect的身体动作捕捉不同,头戴式VR系统更侧重于视觉和听觉的沉浸式体验。例如,Oculus Rift通过精确的头部跟踪、高质量的视听效果以及手部跟踪和控制器输入,使得患

者能够在虚拟环境中沉浸式地进行各种康复训练,如模拟行走、平衡练习以及抓握练习等^[21]。除此之外,还有一些其他的VR系统也在肌肉骨骼康复领域有所应用。VRRS是一种集远程管理、实时监控与个性化康复于一体的居家康复系统,由操作员工作站和用户移动套件组成,操作员工作站用于远程管理设备、制订康复计划、跟踪进展,并通过实时视频通话接收反馈;患者配备了平板电脑,该平板电脑与可穿戴传感器结合使用,以执行锻炼计划^[22]。但因技术成熟度、设备成本、用户接受度等多种因素,该系统目前还未得到广泛使用。

3 VR技术在肌肉骨骼疾病康复中的应用效果

3.1 助力精准评估,满足居家康复需求 VR技术将提供运动指导、监测运动情况的场所拓宽至家庭场景,不仅节约了医疗人力资源,还有利于保持康复治疗连续性。Antón等^[23]的研究显示,全髋关节置换术患者对基于Kinect的远程康复系统表现出较高的满意度和持续使用兴趣,患者在运动过程中可观察自己的3D虚拟化身动作,并将其与物理治疗师的虚拟化身进行对比,同时物理治疗师可以远程监测和评估,根据患者的状况和进展调整康复方案。此外,Zhao等^[24]将Kinect和惯性测量单元相结合设计了一个交互式康复系统,旨在为全膝关节置换术(total knee arthroplasty,TKA)患者提供低成本、连续和便捷的家庭康复护理服务,研究表明该系统能够可靠地评估TKA患者居家康复活动质量和数量。因此,随着科技的普及以及虚拟设备价格的降低,基于VR的家庭远程康复可能是未来的一个研究方向,有利于进一步促进我国延续护理的发展^[25]。

3.2 改善功能状态,提高生活质量 目前研究者主要对VR技术在身体活动度、平衡能力和肌肉力量的影响进行了探索。Su^[26]发现,与对照组TKA患者(101.36°)相比,实验组需要在健身单车游戏中左右移动身体以获得奖励或避免障碍,从而显著改善了膝关节平均弯曲角度(109.28°),但该研究的干预时间仅为6d。Yoon等^[27]以30例TKA老年患者为研究对象,试验组患者通过佩戴VR眼镜左右移动以避开障碍物来参与平衡游戏,结果发现,实验组和试验组在静态平衡、动态平衡和膝关节功能方面均有明显改善,但试验组在动态平衡方面的改善更大。Yalfani等^[28]使用HTC Vive系统对老年慢性腰痛患者进行了3次/周、30min/次的运动干预,发现为期8周的干预计划结束后,患者的功能得到了改善,进一步降低了跌倒风险,提高了生活质量。但

有系统评价^[29]指出,基于VR的康复治疗对ROM的改善程度并不优于常规康复治疗组,对姿势或平衡控制也没有显著影响。因此,在改善活动度、平衡能力等功能状态方面,VR相较于传统康复训练的优劣性仍存在较大争议,需要大样本、高质量的随机对照进行验证。

3.3 减轻疼痛程度,促进心理健康 尽管目前关于VR如何产生镇痛作用的确切机制尚未完全明了,但有研究^[30]指出,VR技术可能基于分散注意力这一机制减轻疼痛,通过提供视觉、听觉等刺激使患者沉浸于虚拟环境中,减少患者对疼痛的关注。Cetin等^[31]将41例慢性颈痛患者随机分为VR组和运动控制练习组,VR组患者佩戴VR眼镜体验海洋场景和世界各地的美景的同时还能完成颈部的活动,经过为期8周、3次/周的训练后,研究发现应用VR可改善慢性颈部颈痛患者的本体感觉,减轻颈椎疼痛。另一方面,疼痛强度的降低可能与心理困扰的减少有关。已经有学者^[32]发现,为期8周的VR治疗不仅可以降低疼痛强度,还可以改善疼痛对活动、情绪和压力的干扰。尽管,目前有研究^[31-32]证实了VR在肌肉骨骼疾病患者疼痛缓解方面的有效性,但大多数研究仅讨论了短期的镇痛效果,并没有关于长期效果的报告。此外,未来还可以针对不同部位疼痛缓解的效果展开进一步讨论。

3.4 激发运动兴趣,增强依从性 运动疗法是肌肉骨骼康复的关键环节,然而坚持运动往往是困难的,VR技术通过趣味性游戏、提供反馈信息和正面激励等方式在改善运动依从性方面发挥着重要作用。Lin等^[33]通过Hot Plus系统对膝关节骨关节炎患者实施为期4周的基于VR的锻炼游戏康复计划,该计划包括“打鼹鼠”和“射箭”两类游戏,每类包括3种难度,随着训练的进行,研究人员根据患者情况调节游戏难度,患者在接受视觉、听觉反馈的同时,还可看到游戏得分,结果显示,锻炼游戏组的依从性(100%)高于传统治疗性运动对照组(93%)。通过提供正面或负面的视听反馈,患者能够实时地获知自身情况以及需要改进的地方,不仅有助于激发其积极性,使他们持续参与游戏,还可以促使他们更有动力地朝着康复目标努力。

4 VR技术应用于肌肉骨骼疾病的挑战与展望

VR技术应用于肌肉骨骼疾病康复已显示出诸多益处,但依然存在一定局限性。首先,由于实际运动和VR系统视觉效果之间的延迟造成的眩晕症等不良反应限制了VR的推广应用,后续有待优化VR技术,改善患者的使用体验。其次,人口老龄化可能是中国肌肉骨骼疾病导致的疾病负担随年龄的增长

而增加的主要驱动因素之一^[34]。因此在老龄化和数字化共振的背景下,智慧养老技术和相关产品的发展有广阔的市场前景。随着年龄的增长,老年人在使用新技术时可能会因为学习和认知能力下降而出现理解与操作困难。与此同时,机能衰退导致的视力下降、误操作后的紧张心理也会影响他们的操作体验和训练效果。然而现有的商业游戏并不是专门为老年人设计的,缺乏面向老年人这一特殊人群使用的设计思考。未来可以结合老年人的生理、心理特征和使用体验进行VR系统的调整或者开发设计新的VR系统,为老年肌肉骨骼疾病患者提供技术支持^[35]。

5 小结

基于VR的康复,加速了现代信息技术与医学的深度融合,打破了传统康复护理模式的时间和地理限制,在提高肌肉骨骼疾病患者的运动依从性、缓解疼痛、改善功能状态等方面展现出巨大的潜力,但现有研究证据尚不一致,还需优化VR技术,扩大样本量,完善研究设计,延长随访时间,以进一步验证方案的科学性和有效性,改善患者的康复效果,提高生活质量。

【关键词】 虚拟现实技术;肌肉骨骼疾病;康复护理

doi: 10.3969/j.issn.2097-1826.2024.02.018

【中图分类号】 R47-05 **【文献标识码】** A

【文章编号】 2097-1826(2024)02-0079-04

【参考文献】

- [1] CIEZA A, CAUSEY K, KAMENOV K, et al. Global estimates of the need for rehabilitation based on the global burden of disease study 2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019[J]. *Lancet*, 2020, 396(10267): 2006-2017.
- [2] CHEN N, FONG D Y T, WONG J Y H. Secular trends in musculoskeletal rehabilitation needs in 191 countries and territories from 1990 to 2019[J/OL]. [2023-12-17]. <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2788217>. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.44198.
- [3] ZHANG Z Y, TIAN L, HE K, et al. Digital rehabilitation programs improve therapeutic exercise adherence for patients with musculoskeletal conditions: a systematic review with meta-analysis[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2022, 52(11): 726-739.
- [4] 杨青, 钟书华. 中国虚拟现实技术发展研究: 回顾与展望[J]. *科学管理研究*, 2020, 38(5): 20-26.
- [5] 国务院. 工业和信息化部 教育部 文化和旅游部 国家广播电视总局 国家体育总局关于印发《虚拟现实与行业应用融合发展行动计划(2022—2026年)》的通知[EB/OL]. [2023-02-13]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-11/01/content_5723273.htm.
- [6] BURDEA G C, COIFFET P. *Virtual reality technology*[M]. New York: John Wiley & Sons, 2003: 3-7.
- [7] BERKMAN M I. *History of virtual reality*[M]. Cham: Springer

- International Publishing, 2018:1-9.
- [8] GÓMEZ-GALÁN M, PÉREZ-ALONSO J, CALLEJÓN-FERRE Á J, et al. Musculoskeletal disorders: OWAS review [J]. *Ind Health*, 2017, 55(4):314-337.
- [9] 张文波, 瞿畅, 周建萍, 等. 基于 Azure Kinect 骨骼追踪的腕关节活动度测量方法[J]. *中国康复理论与实践*, 2022, 28(8):981-988.
- [10] GUMAA M, KHAIRELDIN A, REHAN YOUSSEF A. Validity and reliability of interactive virtual reality in assessing the musculoskeletal system: a systematic review[J]. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 2021, 14(2):130-144.
- [11] MINETTO M A, GIANNINI A, MCCONNELL R, et al. Common musculoskeletal disorders in the elderly: the star triad[J/OL]. [2023-12-17]. <https://www.mdpi.com/2077-0383/9/4/1216>. DOI:10.1007/s12178-021-09696-6.
- [12] LEWIS R, GÓMEZ ÁLVAREZ C B, RAYMAN M, et al. Strategies for optimising musculoskeletal health in the 21st century[J/OL]. [2023-12-17]. <https://bmcmusculoskeletdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12891-019-2510-7>. DOI:10.1186/s12891-019-2510-7.
- [13] LIN H T, LI Y I, HU W P, et al. A scoping review of the efficacy of virtual reality and exergaming on patients of musculoskeletal system disorder[J/OL]. [2023-12-17]. <https://www.mdpi.com/2077-0383/8/6/791>. DOI:10.3390/jcm8060791.
- [14] ZERNICKE J, KEDOR C, MÜLLER A, et al. A prospective pilot study to evaluate an animated home-based physical exercise program as a treatment option for patients with rheumatoid arthritis [J/OL]. [2023-12-17]. <https://bmcmusculoskeletdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12891-016-1208-3>. DOI:10.1186/s12891-016-1208-3.
- [15] BRADY N, MCVEIGH J G, MCCREESH K, et al. Exploring the effectiveness of immersive virtual reality interventions in the management of musculoskeletal pain: a state-of-the-art review [J]. *Phys Ther Rev*, 2021, 26(4):262-275.
- [16] KANTHA P, LIN J J, HSU W L. The effects of interactive virtual reality in patients with chronic musculoskeletal disorders: a systematic review and meta-analysis[J]. *Games Health J*, 2023, 12(1):1-12.
- [17] GUMAA M, YOUSSEF A R. Is virtual reality effective in orthopedic rehabilitation? a systematic review and meta-analysis[J]. *Phys Ther*, 2019, 99(10):1304-1325.
- [18] CERÓN J C, SUNNY M S H, BRAHMI B, et al. A novel multimodal teleoperation of a humanoid assistive robot with real-time motion mimic[J/OL]. [2023-12-17]. <https://www.mdpi.com/2072-666X/14/2/461>. DOI:10.3390/mi14020461.
- [19] 栾琳琳, 丁敏, 卢振玲, 等. 虚拟现实技术在 ICU 危重症患者中的应用进展[J]. *中华护理杂志*, 2021, 56(8):1255-1260.
- [20] 王楠, 高岩, 任丽杰, 等. 虚拟现实技术在痉挛型脑瘫患儿康复护理中的应用进展[J]. *解放军护理杂志*, 2021, 38(9):64-66, 74.
- [21] CHEN G B, LIN C W, HUANG H Y, et al. Using virtual reality-based rehabilitation in sarcopenic older adults in rural health care facilities—a quasi-experimental study [J]. *J Aging Phys Act*, 2021, 29(5):866-877.
- [22] FASCIO E, VITALE J A, SIRTORI P, et al. Early virtual-reality-based home rehabilitation after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial [J/OL]. [2023-12-17]. <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/7/1766>. DOI:10.3390/jcm11071766.
- [23] ANTÓN D, NELSON M, RUSSELL T, et al. Validation of a Kinect-based telerehabilitation system with total hip replacement patients[J]. *J Telemed Telecare*, 2016, 22(3):192-197.
- [24] ZHAO W, YANG S, LUO X. Towards rehabilitation at home after total knee replacement [J]. *Tsinghua Sci Technol*, 2021, 26(6):791-799.
- [25] 王志伟, 梁倩, 类美容, 等. 虚拟现实技术对肢体功能障碍患者居家康复干预效果的系统评价[J]. *军事护理*, 2022, 39(9):65-69.
- [26] SU C H. Developing and evaluating effectiveness of 3D game-based rehabilitation system for total knee replacement rehabilitation patients[J]. *Multimed Tools Appl*, 2016, 75(16):10037-10057.
- [27] YOON S, SON H. Effects of full immersion virtual reality training on balance and knee function in total knee replacement patients: a randomized controlled study [J/OL]. [2023-12-17]. <https://worldscientific.com/doi/epdf/10.1142/S0219519420400072>. DOI:10.1142/S0219519420400072.
- [28] YALFANI A, ABEDI M, RAEISI Z. Effects of an 8-week virtual reality training program on pain, fall risk, and quality of life in elderly women with chronic low back pain: double-blind randomized clinical trial [J]. *Games Health J*, 2022, 11(2):85-92.
- [29] PENG L, ZENG Y, WU Y, et al. Virtual reality-based rehabilitation in patients following total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2022, 135(2):153-163.
- [30] 卫平莲, 刘安诺. 虚拟现实技术联合小丑照护在门诊伤口换药患儿中的应用 [J]. *军事护理*, 2023, 40(4):28-31.
- [31] CETIN H, KOSE N, OGE H K. Virtual reality and motor control exercises to treat chronic neck pain: a randomized controlled trial [J/OL]. [2023-12-17]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468781222001369?via%3Dihub>. DOI:10.1016/j.msksp.2022.102636.
- [32] GARCIA L M, BIRCKHEAD B J, KRISHNAMURTHY P, et al. An 8-week self-administered at-home behavioral skills-based virtual reality program for chronic low back pain: double-blind, randomized, placebo-controlled trial conducted during COVID-19 [J/OL]. [2023-12-17]. <https://www.jmir.org/2021/2/e26292/>. DOI:10.2196/26292.
- [33] LIN Y T, LEE W C, HSIEH R L. Active video games for knee osteoarthritis improve mobility but not WOMAC score: a randomized controlled trial [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2020, 63(6):458-465.
- [34] WU D, WONG P, GUO C, et al. Pattern and trend of five major musculoskeletal disorders in China from 1990 to 2017: findings from the global burden of disease study 2017 [J/OL]. [2023-12-17]. <https://bmcmmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12916-021-01905-w>. DOI:10.1186/s12916-021-01905-w.
- [35] 黄欢欢, 肖明朝, 赵庆华. 协同设计在智慧养老中的应用与思考 [J]. *解放军护理杂志*, 2021, 38(6):66-68.

(本文编辑:沈园园)