

虚拟现实技术在疼痛与焦虑缓解中的应用效果与机制研究

马小龙 应骐阳 孙嘉聆 闫思媛 陈慧彬

西京学院，陕西西安，710000；

摘要：虚拟现实技术作为一种新兴的非药物干预手段，在疼痛与焦虑管理中展现出显著潜力。本文系统综述了 VR 技术在急性操作痛、慢性疼痛及焦虑障碍中的应用效果与作用机制。研究表明，VR 通过高度的沉浸性实现注意力分散，并能调节疼痛相关脑区活动及自主神经功能，从而有效缓解患者症状。其在提供安全可控的暴露环境、提升治疗依从性方面具有独特优势。然而，该技术的临床推广仍面临成本高昂、方案标准化不足及长期疗效证据缺乏等挑战。未来需要通过技术融合与标准化建设，推动 VR 疗法向智能化、普惠化发展，使其成为疼痛与焦虑管理体系中的重要组成部分。

关键词：虚拟现实；疼痛管理；焦虑；注意力分散；作用机制

DOI：10.69979/3029-2808.26.01.080

引言

疼痛与焦虑作为全球重大公共卫生问题，兼具感觉与情感维度，严重影响个体身心健康。目前临床管理主要依赖药物，如阿片类镇痛药和苯二氮草类抗焦虑药，虽短期有效，但长期使用存在成瘾、耐受及多种不良反应风险。非药物干预手段如认知行为疗法，则因周期长、专业依赖度高、患者依从性不足等问题难以普及。虚拟现实技术通过构建沉浸式、交互性三维环境，为疼痛与焦虑管理提供了解决方案。自 Hoffman 等人利用《Snow World》缓解烧伤患者疼痛以来，VR 在医疗干预中的应用不断拓展^[1]。虚拟现实缓解疼痛与焦虑项目 (VRPAA Project) 旨在开发一套基于虚拟现实非药物的技术干预方案。该项目致力于弥补现有非药物干预的不足，推动医疗服务模式优化，提升患者治疗体验与生活品质。本文系统梳理 VR 在疼痛与焦虑缓解中的应用效果、机制、优势与挑战，旨在为项目提供理论支撑与前景展望，促进以技术为驱动的医疗创新。

1 虚拟现实缓解疼痛与焦虑的临床应用效应

1.1 急性操作相关性疼痛的 VR 干预效果

急性操作相关性疼痛常见于医疗操作过程，其有效管理对改善患者体验至关重要。VR 技术在此类疼痛管理中主要通过注意力分散机制发挥作用，通过沉浸式多感官体验转移患者对疼痛刺激的注意力，从而降低大脑对疼痛信号的处理强度。一项纳入 31 项随机对照试验的 Meta 分析表明，VR 干预能显著降低急性疼痛评分、减轻焦虑水平并改善疼痛相关的不良情绪^[2]。该研究同时发现，VR 对提升疼痛耐受性效果有限，提示其作用主要体

现在调节疼痛感知和情绪反应层面。在烧伤护理领域，患者在虚拟冰雪环境中进行伤口护理时，其疼痛强度报告显著降低，对疼痛持续时间的感知也缩短。在牙科治疗和静脉穿刺等操作中，使用 VR 分散注意力的患者，其疼痛评分、焦虑水平和生理指标均优于接受常规护理的对照组^[3]。此外，在康复训练中，VR 通过游戏化设计将患者的注意力导向任务目标，有效提升了疼痛耐受性和治疗依从性^[4]。

1.2 慢性疼痛管理的 VR 应用进展

慢性疼痛的 VR 干预研究近年来取得显著进展。Eijlers 等人一项涵盖 122 项随机对照试验、涉及 9138 名患者的系统综述表明，VR 在急性、慢性和操作相关性疼痛中均能产生显著的镇痛效果^[5]。对于纤维肌痛等复杂疾病，VR 通过营造自然场景并结合正念训练，有助于调节中枢神经系统敏感性，打破“疼痛—紧张—失眠”的恶性循环^[6]。在神经性疼痛领域，基于镜像疗法原理的 VR 干预通过虚拟肢体运动训练，利用视觉反馈重建受损的躯体感觉网络，从而显著改善幻肢痛等症状。郭启帆等人针对颈痛患者的系统评价显示，中等质量证据支持 VR 能显著改善疼痛强度^[7]。马冰洁等人的研究将传统放松疗法与 VR 技术相结合，结果表明这种创新干预方式能有效缓解各类急慢性疼痛，且效果具有较好的普适性^[8]。

1.3 焦虑障碍的 VR 干预效果

VR 在焦虑障碍干预中的独特优势在于其能构建安全可控的暴露环境。对于特定恐惧症，VR 暴露疗法允许治疗师精确控制暴露的层级和节奏，帮助患者实现渐进

式脱敏^[9]。Ioannou 等人的研究综述证实了该方法对恐高症、飞行恐惧症等的显著疗效。van Twillert 等人的研究显示,术前使用 VR 进行放松训练能有效分散患者对手术的灾难化思维,降低其焦虑水平和生理应激指标。尽管个别早期研究结果存在差异,但后续更多高质量研究证实了 VR 在医疗环境焦虑管理中的总体有效性。

综上所述,VR 技术在疼痛与焦虑管理中的应用已获得充分的实证支持。其在急性疼痛中的注意力分散机制、在慢性疼痛中的多模式干预策略,以及在焦虑障碍中的暴露疗法应用,均展现出独特价值。

2 虚拟现实干预的多维作用机制

2.1 心理学机制

心理学机制主要包括注意力分散理论、临场感与心流体验、认知行为机制、情绪调节与自我效能等方面。注意力分散是 VR 缓解疼痛的核心机制,其基于有限容量模型理论。VR 通过提供视觉、听觉、触觉等丰富的多感官刺激,有效占据了大量的认知处理资源,从而减少了分配给疼痛处理的认知资源。Dahlquist 等人的研究表明,沉浸式 VR 体验能够将个体的注意力从内源性疼痛信号转移到外源性虚拟环境中,显著降低疼痛感知强度。Won 等人指出,当沉浸式体验与适当难度的任务需求相结合时,便可能引发一种高度专注且与活动本身深度融合的心流状态,个体的时间感知发生扭曲而主观流速减缓,同时对疼痛刺激的神经敏感性亦随之降低,为临床疼痛管理开辟了一条非药物性的、独特而有效的心灵干预途径。在焦虑障碍治疗中,Botella 团队的研究表明,VR 暴露疗法可以在安全可控的环境中循序渐进地呈现恐惧刺激,促进患者的习惯化和消退学习。对于慢性疼痛,VR 能够通过改变患者对疼痛的灾难化认知,重塑疼痛相关的信念和行为模式。

2.2 神经生理学机制

在脑功能区调制方面, Hoffman 等人通过功能性磁共振成像 (fMRI) 研究显示,VR 干预可显著调节疼痛矩阵关键脑区的活动,包括降低前扣带回皮层、岛叶和前额叶皮层的激活水平。在焦虑干预中,VR 暴露疗法可降低杏仁核的过度激活,增强前额叶对恐惧反应的调节,该神经机制与传统的暴露疗法相似,但通过虚拟环境实现了更精确的调控。Tashjian 等人的研究发现,VR 能通过激活内源性镇痛系统发挥作用,干预后可观察到内啡肽系统的激活以及下行疼痛抑制通路的功能增强,为理解 VR 的持久效应提供了新的生理学视角。Gromala 等人的研究则发现,VR 环境可对自主神经系统功能产生

显著影响,促进副交感神经活动增强,表现为心率变异性升高、呼吸频率降低和皮肤电导水平下降;自主神经平衡的转变与焦虑减轻和疼痛耐受性提高密切相关,为 VR 的放松效应提供了客观的生理学指标。

3 虚拟现实技术在疼痛与焦虑管理中的优势与挑战

3.1 技术优势

(1) 高度沉浸与注意力捕获。VR 通过头戴显示与立体声系统构建沉浸式三维环境,有效隔离现实干扰,占据用户有限的认知资源,从而减少对疼痛的感知。基于 Kahneman 的有限容量模型,多感官刺激可大量占用注意力,使大脑中痛觉处理相关脑区活动显著降低。研究显示,在烧伤换药、静脉穿刺等操作中,VR 能明显减轻疼痛强度。

(2) 环境安全可控与个体化定制。VR 暴露疗法为焦虑障碍患者提供了可精确控制的虚拟场景,治疗师能逐步调整暴露强度,促进习惯化与消退学习,已在特定恐惧症等领域验证有效。针对颈痛等肌肉骨骼问题,VR 也可根据患者功能障碍设计个性化训练方案,提升治疗效果。

(3) 提升治疗依从性与体验乐趣。VR 的游戏化设计能将重复或痛苦的康复过程转化为富有吸引力的互动体验,帮助患者进入“心流”状态,扭曲时间感知并降低疼痛敏感性,尤其有助于提高儿童患者的主动参与度。

(4) 多模式干预整合潜力。VR 作为一个综合技术平台,能够融合正念冥想、引导性想象与生物反馈等多种非药物干预手段。研究表明,结合注意力分散与自我调节的多模式 VR 干预,效果优于单一机制方案;实时生理信号反馈更有助于患者学习自我调节,增强自主神经平衡,从而更深层次缓解疼痛与焦虑。

3.2 面临的挑战

(1) 技术成本与可及性限制。高质量 VR 干预所需的硬件、软件及维护更新费用较高,在基层医疗机构中普及率低,形成了显著的“技术鸿沟”。研究指出,尽管 VR 效果明确,但缺乏成本—效益分析,高昂费用限制了其在资源有限环境下的推广。

(2) 缺乏标准化干预方案。目前 VR 干预在硬件配置、软件内容、沉浸程度及疗程设计等方面差异显著,形成“黑箱”状态,难以确定疗效背后的核心要素。该领域亟需建立统一、可复制的临床协议,以推动最佳实践的形成与研究结果的可比性。

(3) 长期疗效证据不足与适用人群限制。多数研究聚焦于VR在单次或短期干预中的即时效果,但其效果的长期持续性仍证据薄弱,缺乏对患者远期预后的系统追踪。此外,晕动症是常见副作用,部分患者因个体敏感性或技术延迟无法耐受;老年群体也因视力、前庭功能退化及技术适应困难,面临更高的使用障碍。

4 行业前景与发展趋势

VR在疼痛与焦虑管理领域的未来发展正朝着更深入、更广泛的方向快速推进。未来趋势的核心是技术融合与智能化,VR将与人工智能、可穿戴生物传感器及大数据深度融合,构建能够实时监测患者生理状态并自适应调整场景的智能干预系统,实现个性化生物心理反馈闭环治疗。随着硬件成本降低和移动解决方案成熟,VR疗法的应用场景将持续拓展并走向普惠化,从医院、诊所逐步延伸至家庭与社区,从而显著提升服务可及性,支持便捷的长期慢病管理。同时,方案标准化与证据体系完善是行业健康发展的基石,需建立基于循证的标准临床协议,明确针对不同病种与人群的关键干预参数,并通过长期随访与大规模真实世界研究夯实疗效证据,加强成本效益分析。此外,监管与支付体系的构建也至关重要,应推动建立适应数字疗法特点的监管审批与评估标准,并积极探索将VR干预纳入公共医保与商业保险支付的可行路径,为技术的广泛应用提供坚实的制度保障。

5 结论

虚拟现实技术凭借其沉浸性、安全可控性及多模式整合能力,在疼痛与焦虑管理中展现出独特价值。其作用机制涵盖注意力分散、认知情绪调节、调制大脑疼痛矩阵及平衡自主神经功能等多层面,构成了有效性的科学基础。当前,VR技术已在急慢性疼痛与焦虑干预中积累积极证据,但仍面临成本、标准化、长期疗效和支付体系等挑战。未来,通过技术融合、场景拓展、方案标准化及支付体系完善,VR有望发展成为高效、普惠的非药物干预手段,为提升患者生活质量做出重要贡献。

参考文献

[1] Hoffman H G, et al. fMRI study of virtual reality pain distraction[J]. NeuroImage, 2007, 34(3): 1208-1217.

[2] Indovina P, Barone D, Gallo L, et al. Virtual reality as a distraction intervention to relieve pain and distress during medical procedures: a comprehensive meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Annals of Behavioral Medicine, 2018, 52(8): 725-736.

[3] 姚永芳,王晓燕,葛燕,等.虚拟现实技术在减轻成人操作性疼痛中应用的研究进展[J].中华现代护理杂志,2024,30(7):977-980.

[4] Won A S, Bailey J, Bailenson J, et al. Immersive virtual reality for pediatric pain: a pilot study[J]. Journal of Pain Research, 2017, 10: 1391-1398.

[5] Eijlers R, Utens E M W J, Staals L M, et al. Systematic review and meta-analysis of virtual reality in pediatrics: effects on pain and anxiety[J]. Anesthesia & Analgesia, 2019, 129(5): 1344-1353.

[6] Gromala D, et al. Virtual reality and chronic pain[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2015, 21(10): 1109-1118.

[7] 郭启帆,王朴,于涛.虚拟现实技术在颈痛康复中应用效果的系统评价[J].中国康复医学杂志,2023,38(4):533-539.

[8] 马冰洁,张通,张玉梅.虚拟现实放松疗法对患者疼痛及焦虑影响的Meta分析[J].中国心理卫生杂志,2022,36(5):385-391.

[9] Botella C, Fernández-Álvarez J, Guillén V, et al. Recent progress in virtual reality exposure therapy for phobias: a systematic review[J]. Current Psychiatry Reports, 2017, 19(7): 42.

作者简介:马小龙(2000-),男,中国陕西省西安市人,本科,从事医学影像技术、电脑编程研究。

基金项目:西京学院大学生创新创业训练计划省级项目:虚拟现实缓解疼痛与焦虑项目(VRPAAProject)(编号:S202412715019)。