

• 论 著 •

基于沉浸式虚拟现实技术的距腓前韧带损伤患者术后康复方案构建及应用

钱玉雯¹, 郑喜灿², 江小萌², 张佳佳², 孙志艳¹, 赵霞¹, 王雅惠¹, 杨涛¹, 张广超¹

摘要:目的 基于沉浸式虚拟现实技术制订距腓前韧带损伤患者术后康复方案,并探讨其应用效果。方法 采用便利抽样法,于2025年3—8月选取行关节镜下距腓前韧带修复/重建术的76例患者为研究对象,随机分为对照组和观察组各38例。对照组接受常规康复护理,观察组在常规康复护理的基础上实施沉浸式虚拟现实技术下的康复方案。比较两组干预前及干预后2、6、12周的疼痛、足踝关节功能、康复依从性和生活质量评分。结果 对照组36例、观察组37例完成研究。重复测量方差分析结果显示,两组患者疼痛评分、足踝关节功能、康复依从性及生活质量评分存在显著的组间、时间及交互效应(均 $P<0.05$)。结论 基于沉浸式虚拟现实技术的距腓前韧带损伤患者术后康复方案能够有效缓解患者术后疼痛,改善患者的足踝关节功能,提高其康复依从性和生活质量。

关键词:距腓前韧带损伤; 踝扭伤; 关节镜手术; 沉浸式虚拟现实技术; 足踝关节功能; 康复依从性; 生活质量; 康复护理

中图分类号:R473.6;TP391.9 **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2026.15.016

Development and application of a postoperative rehabilitation program using immersive virtual reality technology for patients with anterior talofibular ligament injury

Qian Yuwen, Zheng Xican, Jiang Xiaomeng, Zhang Jiajia, Sun Zhiyan, Zhao Xia, Wang Yahui, Yang Tao, Zhang Guangchao. Department of Orthopedics, The 988th Hospital of the Joint Logistics Support Force of the Chinese People's Liberation Army, Zhengzhou 450007, China

Abstract: **Objective** To develop a postoperative rehabilitation program using immersive virtual reality (IVR) technology for patients with anterior talofibular ligament injury, and to explore its effectiveness. **Methods** A total of 76 patients undergoing arthroscopic anterior talofibular ligament repair or reconstruction from March to August 2025 were recruited by convenience sampling and randomly assigned to one of two groups. The control group ($n=38$) was given routine rehabilitation nursing, while the observation group ($n=38$) additionally received IVR-based rehabilitation. Pain score, ankle joint function, rehabilitation adherence and quality of life were compared between the two groups before, and at 2, 6 and 12 weeks after the intervention. **Results** A total of 36 cases in the control group and 37 in the observation group completed the study. Repeated measures ANOVA showed significant group, time, and time-group interaction effects in pain scores, ankle joint function, rehabilitation adherence, and quality of life between the two groups (all $P<0.05$). **Conclusion** Postoperative rehabilitation based on IVR technology can effectively relieve postoperative pain, and improve ankle joint function, rehabilitation adherence and quality of life of patients with anterior talofibular ligament injury.

Keywords: anterior talofibular ligament injury; sprained ankle; arthroscopic surgery; immersive virtual reality technology; ankle joint function; rehabilitation adherence; quality of life; rehabilitation nursing

距腓前韧带损伤是最常见的踝关节扭伤,占有踝扭伤的85%,其中10%~20%需进行手术治疗^[1-2]。踝关节镜下距腓前韧带修复/重建术是治疗损伤的有效手段^[3]。但患者术后常面临踝关节僵硬、肌力下降和平衡功能受损等功能障碍,若康复不当可

导致关节粘连和肌肉萎缩,加剧疼痛^[4]。目前,传统康复护理模式存在干预手段单一、个性化不足和依从性低等问题,加之术后疼痛、缺乏监督和反馈不及时等因素,共同制约了术后足踝功能的恢复^[5-7]。因此,需探索新的模式以提升距腓前韧带损伤患者术后康复的有效性和依从性。沉浸式虚拟现实(Immersive Virtual Reality,IVR)技术通过三维交互环境,能够将传统枯燥的训练动作趣味化,使患者在“玩游戏”中坚持康复锻炼,提升康复动机,促进功能恢复^[8]。因此,将IVR技术融入康复护理,有望弥补传统模式互动性和连续性不足的短板,优化患者康复体验并强化训练效果。基于此,本研究构建并验证IVR技术下

作者单位:中国人民解放军联勤保障部队第九八八医院 1.骨科
2.护理部(河南 郑州,450007)
通信作者:郑喜灿,zxcxy153@163.com
钱玉雯:女,本科,主管护师,267029178@qq.com
科研项目:河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20250641)
收稿:2026-01-20;修回:2026-03-21

距腓前韧带损伤术后康复方案的应用效果,旨在为提升距腓前韧带损伤患者康复依从性、提升其生活质量提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2025 年 3—8 月,选取在中国人民解放军联勤保障部队第九八八医院足踝外科诊断为距腓前韧带损伤且接受关节镜下距腓前韧带修复/重建手术的患者作为研究对象。纳入标准:①年龄≥18 岁;②使用智能手机;③对 VR 眼镜具有较好的适应性;④身体活动能力良好,无其他重大身体或精神类疾病;⑤知情同意,自愿参与本研究。排除标准:①既往有踝关节周围骨折史;②并存踝关节炎;③踝关节畸形、下肢力线异常。脱落标准:中途退出研究。样

本量计算公式为: $n_1=n_2=2[(Z_{1-\alpha/2}+Z_\beta)\sigma/\delta]^2$,以美国骨科足踝外科协会(American Orthopaedic Foot and Ankle Society,AOFAS)踝及后足评分^[8]为主要评价指标,参考以往研究^[9], $\sigma=1.90,\delta=1.60,\alpha$ 取 0.05, β 取 0.10,代入后计算出 $n_1=n_2=30$,考虑 20%的失访率,共需要样本为 75。本研究纳入研究对象 76 例。采用随机数字表,根据末尾数字的奇偶分为两组,每组各 38 例。对同期住院患者实施分病房管理,以避免组间沾染。最终对照组 36 例(失访 2 例)、观察组 37 例(因个人原因中途退出 1 例)完成研究。两组一般资料比较,见表 1。本研究已通过医院伦理委员会审批(PLA988LLSP202502038),研究对象均签署知情同意书。

表 1 两组一般资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	职业(例)		文化程度(例)		手术类型(例)	
		男	女		学生	官兵	大专	本科及以上	关节镜下距腓前 韧带修复术	关节镜下距腓前 韧带重建术
对照组	36	33	3	27.17±4.44	20	16	22	14	30	6
观察组	37	32	5	28.46±3.28	18	19	20	17	32	5
统计量		$\chi^2=0.502$		$t=1.413$	$\chi^2=0.349$		$\chi^2=0.372$		$\chi^2=0.142$	
P		0.479		0.163	0.550		0.599		0.729	

组别	例数	身体质量指数 (kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	前抽屉试验 (mm, $\bar{x}\pm s$)	跖屈 (°, $\bar{x}\pm s$)	背伸 (°, $\bar{x}\pm s$)	内翻应力试验 (°, $\bar{x}\pm s$)
对照组	36	24.86±1.47	10.53±1.11	27.33±3.36	14.61±1.98	17.52±2.48
观察组	37	25.25±1.14	10.32±1.08	27.14±3.27	14.59±2.02	17.08±2.45
统计量		$t=1.267$	$t=0.794$	$t=0.255$	$t=0.035$	$t=0.774$
P		0.209	0.430	0.799	0.972	0.442

1.2 干预方法

对照组接受常规康复护理。干预人员为康复治疗师和责任护士,干预方法为术后当天进行疼痛处理与肿胀处理(同观察组),术后 2~5 d 逐渐开始进行运动康复,第 5~7 天或出院前 1~2 d 进行出院指导,制订出院后康复训练计划,同时给予足够的心理支持。出院后通过电话随访和门诊复诊进行健康宣教和一对一的运动指导,主要通过肌力训练、本体感觉训练等运动促进跟腱、足内肌和跖屈伸肌腱的恢复。观察组在常规康复护理的基础上实施 IVR 技术下的康复方案,具体如下。

1.2.1 成立多学科团队 包括骨科主治医师 1 名、康复治疗师 1 名、护理部主任 1 名、科室护士长 1 名及责任护士 5 名。骨科医师负责对患者实施全面评估、诊断、制订治疗方案及为小组提供专业指导;康复治疗师负责制订运动康复方案;护理部主任负责康复方案的总体设计和指导;护士长负责全程组织管理、培训考核及质量控制;责任护士负责方案实施、数据收集、效果评价、门诊复诊及使用河南省“豫健护理到家”互联网+平台进行线上或上门指导,同时负责虚拟场景设计、视频制作及 VR 眼镜调试。

1.2.2 制订运动康复方案 参考相关文献^[10-14],形成患者术后康复方案初稿。邀请 15 名专家进行 2 轮函询。专家年龄 35~62(40.81±7.42)岁,工作年限 10~27(18.06±8.10)年;硕士 6 名,博士 9 名;正高级职称 9 名,副高级 6 名;工作领域为足踝外科 8 名,创伤骨科 5 名,康复医学科 2 名。2 轮函询的专家积极系数分别为 100%和 93.3%,权威系数分别为 0.87 和 0.89,肯德尔和谐系数分别为 0.312 和 0.415(均 $P<0.001$);2 轮函询中各指标的变异系数范围分别为 0.05~0.30、0.04~0.15。根据函询结果形成距腓前韧带损伤患者术后全周期运动康复方案,见表 2。

1.2.3 IVR 运动康复方案的实施 方案的实施遵循从院内至居家的闭环管理流程。在院内,制作康复指导视频(见附件 1),由康复护士对患者进行一对一设备操作与动作标准化教学;出院后,患者依据个性化计划在家进行结构化训练,训练后足踝传感器数据自动同步至 App,医生通过后台查看数据,动态调整后续处方,确保康复方案与患者的锻炼水平达到动态平衡。康复团队的责任护士通过微信群或患者复诊的方式进行康复训练督导和技术支持,及时解决实操问题,保证居家康复的规范性、持续性及安全性。

表 2 基于 IVR 技术的距腓前韧带损伤患者术后运动康复方案

康复时机	康复内容及频次	运动强度调整时机	康复目的
术后 0~1 d	组织肿胀处理;术后参考 POLICE 处理原则,进行支具保护、适当负重、冰敷、加压包扎及抬高处理。若 VAS 评分≥3 分,立即启动镇痛治疗		控制组织肿胀; 缓解疼痛
术后 2~5 d	非负重下的肌力训练,采用 IVR 场景及语音指导,实施渐进式训练,每日严格按照序进行,即非负重站立→等长训练→等张训练,逐步增强下肢整体力量。康复护士协助患者佩戴 VR 设备进入“虚拟海滩”场景,随着潮汐节奏完成股四头肌收缩、直腿抬高动作,听觉和视觉反馈可分散患者术后早期疼痛。通过“自行车骑行”场景完成髌膝屈伸、床上骑自行车动作,并通过足踝传感器采集的频率与幅度数据评估患侧肌肉力量的恢复情况。内容及方法:①非负重站立 3~5 min/次,3~5 次/d,在助行器或双拐辅助下非负重下地。②等长训练 5~10 s/次,10 次/组,组间休息 1 min,3~5 组/d。股四头肌收缩,即下肢伸直平放在床面,用力收缩大腿肌肉 5 s 后放松 2 s。③等张训练 5~10 s/次,5~10 次/组,组间休息 1 min,3~5 组/d。直腿抬高,即膝关节伸直抬高离床面 15°,保持 5 s 后缓慢匀速放下;侧身直腿抬高,即健侧卧位,患侧腿伸直,将腿向上方抬高至与床面形成 45°,保持膝关节最大程度伸直,缓慢呼吸,一呼一吸为 1 次动作;髌膝屈伸,即仰卧位,双下肢抬起并膝髌关节屈曲,使大腿贴于腹部,保持 5 s 后缓慢放下;床上骑自行车,即双腿伸直抬起,与床面夹角 30°为宜,模拟蹬自行车的动作	遵循无痛原则,每完成 1 组动作进行疼痛评估,VAS 评分≥3 分时,单组次数减少 2~3 次,每天减少 1 组;力竭时延长休息至 2 min	强化股四头肌、腓绳肌、臀肌、阔筋膜张肌及核心肌群,防止肌肉萎缩;维持髌、膝关节活动度
出院当天	①随访管理;纳入足踝门诊管理,每周通过微信、复诊或互联网+平台评估恢复情况。②设备支持;出院前预指导,提供 VR 眼镜及足踝传感器。③数据上传;训练后足踝传感器数据自动同步至 App	上传数据作为调整方案的关键依据	
出院后 1~2 周	非负重下的踝关节训练,在上阶段基础上增加踝关节训练和足内肌训练,逐步改善踝关节活动度。必要时第 2 周由康复治疗师进行踝关节松动手。通过“海底世界”场景,患者做足背伸动作推动海水中的贝壳向上漂浮,并用足趾反复抓取沙地中的海藻,可强化足部精细动作。踝关节活动度训练 3~5 s/次,5~10 次/组,2~3 组/d。背伸,即患腿伸直平放在床上,足跟贴床面,缓慢勾足背,保持 3 s 后回位,仅允许非负重模式下有限的踝关节背伸 0~10°,避免内外翻。足内肌群训练 5~10 s/次,5~10 次/组,2~3 组/d。足趾抓毛巾,即取坐位,患侧脚踩毛巾,保证小腿不发力的前提下,足趾用力向下抓握,抓紧毛巾后坚持 3~5 s 后放松	当背伸达到 8~10°、能够完成足趾抓毛巾,且 VAS 评分<3 分时维持当前阶段,否则结合 2~5 d 调整原则,退回上一阶段	锻炼胫前肌、足内肌群,增强小腿前侧肌肉力量和足弓支撑力
出院后 3~4 周	部分负重下的踝关节训练,基于上周训练,在硬质护踝保护下行静态负重训练,新增弹力带背伸抗阻训练及腓骨长短肌等张训练。通过“海底世界”场景患者加上弹力带做足背伸动作。内容及方法:①静态负重训练 5 s/次,10 次/组,2~3 组/d。在助行器或双拐辅助下健侧站立,患侧轻触体重秤(承重≤20%体质量)。②抗阻训练 5~10 s/次,5~10 次/组,>3 组/d。取平卧位,选择阻力 10 磅左右的弹力带绕在患足足背位置,另一端固定,缓慢勾足背,对抗弹力带阻力,避免内翻。③等张训练 3~5 s/次,3~5 次/组,2~3 组/d。跖屈,患腿伸直平放在床上,足跟贴床面,缓慢下压足尖,踝关节跖屈 0~20°,保持 3 s 后回位。外翻,患腿伸直平放在床上,患脚足尖朝向身体外侧约 30~45°,保持 3 s 后回位	触地时间健侧和患侧差异≤30%、踝关节跖屈 15~20°/外翻 40~45°、背屈/跖屈肌力≥Ⅲ级,且 VAS 评分<3 分时维持当前阶段;若训练后无疼痛、疲劳感加重,逐步增加训练频次(增幅≤50%)。若训练后疼痛肿胀加重、皮温增高,需降低训练强度,余同出院后 1~2 周	锻炼腓肠肌-比目鱼肌、腓骨长短肌,增强小腿后侧及外侧肌肉力量
出院后 5~6 周	完全负重下的踝关节训练,在硬质护踝保护下逐渐增加至完全负重;同步增加踝关节跖屈、背伸、外翻的无痛抗阻训练及内翻训练。在“虚拟花园”场景中,患者沿小径通过跖屈、背伸、内翻、外翻等动作避开虚拟场景中的障碍物。内容及方法:①抗阻训练 5~10 s/次,5~10 次/组,>5 组/d。取平卧位,选择阻力 10~20 磅的弹力带,做踝关节跖屈、背伸、外翻训练,对抗弹力带阻力。②踝关节活动度训练 3~5 s/次,3~5 次/组,2~3 组/d。内翻,即患脚足尖朝向身体内侧 30~45°,保持 3 s 后回位	触地时间健侧和患侧差异≤10%、内翻 40~45°、背屈/跖屈肌力≥Ⅳ级,且 VAS 评分<3 分时维持当前阶段,否则结合出院后 3~4 周调整原则,退回上一阶段	锻炼胫前肌、腓肠肌-比目鱼肌、腓骨长短肌、胫后肌,增强小腿肌群力量
出院后 7~8 周	踝关节各平面静态训练,更换软质护踝,进行踝关节的主动活动度训练,提高踝-膝-髌关节的协调性及踝关节活动范围。IVR 场景中观看正确动作示范后开始训练。内容及方法:进阶关节活动度训练 5~10 s/次,5~10 次/组,3~5 组/d。弓步下蹲,即前后腿 90°,前方力线稳定,膝不超足尖,垂直下蹲后还原。踩墙角,即前足掌踩墙角处,足跟压地身体前压。全身下蹲,即双足同肩宽,屈髌屈膝下蹲起立。蹲步推墙,即健肢向前屈曲足跟压地,患肢后腿伸直,深蹲姿势推墙。蹲斜板背伸,即患侧足踩在斜板上,健侧腿单膝跪地,双手按在患侧腿膝关节处,髌膝踝保持在同一个平面上,将重心前压,使踝关节保持背伸	同出院后 5~6 周	锻炼胫前肌、屈趾长肌、腓肠肌-比目鱼肌,加强踝周肌力训练

续表 2 基于 IVR 技术的距腓前韧带损伤患者术后运动康复方案

康复时机	康复内容及频次	运动强度调整时机	康复目的
出院后 9~12 周	踝关节各平面动态训练,从坐位起始,逐步过渡至站立及行走;由双腿进阶至单腿;从睁眼转为闭眼训练;平衡训练由静态稳定至动态不稳定平面(如平衡球),加强本体感觉和平衡觉训练。IVR 场景中观看正确动作示范后开始训练。内容及方法:本体感觉和平衡觉训练 5~10 s/次,5~10 次/组,>5 组/d。提踵,即身体直立,力线稳定,膝关节对准第二足趾,足跟快起慢落,最高点维持 3~5 s。睁眼金鸡独立,即取站立位,睁开眼,目视前方,双手打开,保持平衡,患侧足站立于平地上,健侧屈膝向后微微抬起,当健侧大腿与地面平行时开始计时,保持 20~30 s。闭眼金鸡独立,即轻微闭眼,动作同睁眼金鸡独立一致,保持 10~20 s。足跟行走,即取站立位,在房间里用足跟行走。米字训练,即患足单腿站立位,膝关节微弯不过足趾。以患足为中心,在周围画出一个“米”字(如正前—右前—右侧—右后—正后—左后—左侧—左前),在保持身体平衡的前提下,尽量向远处延伸,动作要慢。平衡球,即缓慢站于平衡球上,保持稳定。踮脚行走,即取站立位,在房间里用前脚掌行走,足趾着地,足跟抬起	同出院后 5~6 周	锻炼腓肠肌-比目鱼肌、胫前肌、跖屈肌等,系统强化神经肌肉控制能力

注: POLICE 处理原则即保护(Protect)、适当负重(Otimal Loading)、冰敷(Ice)、加压包扎(Compression)、抬高患肢(Elevation)。

1.3 评价方法

于术前(运动损伤康复依从性除外)和术后 2、6、12 周由 5 名责任护士通过上门随访或复诊的方式收集以下资料。

1.3.1 疼痛评分 采用 VAS 评估。利用视觉模拟尺,0 代表“无痛”,10.0 代表“剧痛”,由受试者根据自己疼痛感受标出相应位置。

1.3.2 足踝关节功能 采用 AOFAS 量表评估足踝关节功能。该量表由 Kitaoka 等^[8]研制,包含疼痛(1 个条目)、功能(7 个条目)、力线(1 个条目)3 个维度共 9 个条目。各条目根据受限程度赋分,满分 100 分,得分越高功能越好。AOFAS 量表 Cronbach's α 系数为 0.810^[15]。

1.3.3 康复依从性 采用运动损伤康复依从性量表(Sport Injury Rehabilitation Adherence Scale, SIR-AS)进行评价。该量表由 Brewer 等^[16]研制,包括完成康复训练的强度、遵循康复治疗师指示和建议的频率、对当天预约的康复计划调整的接受程度 3 个条目。采用 Likert 5 级评分(1=最小努力/从不/完全不能接受,5=最大努力/始终/完全接受),总分 3~15 分,得分越高表示康复依从性越好。该量表的 Cronbach's α 系数为 0.820^[16]。

1.3.4 生活质量 采用简明生活质量量表(MOS 36-Item Short-Form Health Survey, SF-36)进行评价。该量表由 Framework^[17]研制,李鲁等^[18]汉化。该量表包括生理功能(10 个条目)、生理职能(4 个条目)、躯体疼痛(2 个条目)、总体健康(5 个条目)、活力(4 个条目)、社会功能(2 个条目)、情感职能(3 个条目)以及精神健康(5 个条目)8 个维度 35 个计分条目。每个维度得分为 0~100 分,本研究对 8 个维度的总分取算术平均值为生活质量总分,得分越高代表该维度的生活质量越好。该量表的 Cronbach's α 系数为 0.720~0.880^[18]。

1.4 统计学方法 采用 SPSS27.0 软件进行统计分析。计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验;计数资料采用频数和百分率表示,组间比较采用 χ^2 检验。纵向数据分析采用广义估计方程。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组不同时间疼痛、足踝关节功能评分比较 见表 3。

2.2 两组不同时间运动损伤康复依从性及生活质量评分比较 见表 4。

表 3 两组不同时间疼痛、足踝关节功能评分比较 分, $\bar{x} \pm s$

组别	例数	疼痛				足踝关节功能			
		术前	术后 2 周	术后 6 周	术后 12 周	术前	术后 2 周	术后 6 周	术后 12 周
对照组	36	5.84±1.24	4.34±1.12	4.42±1.18	2.42±1.13	42.69±2.80	62.25±1.84	76.17±2.17	83.25±2.33
观察组	37	5.87±1.56	4.00±1.04	2.41±1.12	1.24±0.44	43.08±1.72	68.92±4.22	80.08±3.17	93.43±3.42
<i>t</i>		0.189	1.325	7.480	5.882	0.714	8.710	6.145	14.817
<i>P</i>		0.857	0.189	<0.001	<0.001	0.478	<0.001	<0.001	<0.001

注:两组疼痛评分比较, $Wald\chi^2_{组间}=26.910$, $Wald\chi^2_{时间}=661.118$, $Wald\chi^2_{交互}=72.008$, 均 $P<0.001$ 。两组足踝功能比较, $Wald\chi^2_{组间}=159.871$, $Wald\chi^2_{时间}=14\,749.621$, $Wald\chi^2_{交互}=186.348$, 均 $P<0.001$ 。

表 4 两组不同时间运动损伤康复依从性及生活质量评分比较

分, $\bar{x} \pm s$

组别	例数	运动损伤康复依从性			生活质量			
		术后 2 周	术后 6 周	术后 12 周	术前	术后 2 周	术后 6 周	术后 12 周
对照组	36	10.53±1.70	8.95±2.00	8.53±1.97	72.16±5.34	79.21±5.56	82.92±6.16	84.42±6.17
观察组	37	12.92±0.63	12.87±0.91	12.79±0.81	71.68±4.29	80.95±5.21	84.74±5.13	88.37±5.94
<i>t</i>		7.822	10.536	12.695	0.654	1.341	1.487	2.766
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	0.515	0.184	0.141	0.007

注:两组运动损伤康复依从性比较,Wald $\chi^2_{\text{组间}}=234.762$,Wald $\chi^2_{\text{时间}}=28.917$,Wald $\chi^2_{\text{交互}}=22.390$,均 $P<0.001$ 。两组生活质量比较,Wald $\chi^2_{\text{组间}}=9.451$, $P=0.002$;Wald $\chi^2_{\text{时间}}=317.771$, $P<0.001$;Wald $\chi^2_{\text{交互}}=7.469$, $P=0.048$ 。

3 讨论

3.1 基于 IVR 技术的运动康复方案能显著缓解患者术后疼痛 本研究结果显示,两组患者疼痛评分的时间、组间及交互效应均显著,且干预后 6、12 周后,观察组疼痛评分显著低于对照组(均 $P<0.05$)。提示基于 IVR 的运动康复方案能显著缓解患者术后疼痛,且长期效果明显。IVR 方案通过构建身临其境的游戏化环境实现深度的“注意力竞争”与“情境脱离”,将患者的认知资源高度集中于完成虚拟任务,如躲避障碍、实现目标等,这种沉浸感与任务导向性,占用了原本用于处理疼痛信号的认知通道,在主观上降低了疼痛的强度与侵扰性^[19]。与 Levit 等^[20]提出的沉浸式体验通过调节前额叶皮层等脑区活动来调控中枢疼痛处理的结论一致。此外,本方案提出将 IVR 的镇痛属性与结构化、渐进性的运动康复任务进行整合,通过正向反馈、积极体验引导患者主动完成可能引发轻微不适但安全的踝关节活动,帮助其在安全可控的虚拟环境中,逐步打破对疼痛动作的恐惧性回避,逐步提升自我效能,促进患者参与疼痛性运动,这种“暴露”与“脱敏”的过程,可能也是观察组获得更优长期疼痛缓解的关键。

3.2 基于 IVR 技术的运动康复方案能显著改善患者术后足踝关节功能 本研究结果显示,两组患者足踝关节功能的时间、组间与交互效应均显著,且干预后 2、6、12 周观察组足踝关节功能评分显著高于对照组(均 $P<0.05$)。提示基于 IVR 技术的运动康复方案能显著改善患者术后足踝关节功能,与 Niloofar 等^[21]的研究结果一致。基于 IVR 技术的游戏训练能通过多模态交互式和逼真的虚拟场景,提供丰富的感官刺激和互动反馈,激活关节内位置感受器,提高患者的本体感觉和稳定性,并针对足踝关节功能和力线,促进肌力、平衡和步态参数的改善。相较于常规康复模式,本研究将 IVR 与足踝传感器结合,借助系统预置的 22 个足踝虚拟康复场景,设计了分周期、进阶式负重训练方案,利用各康复时间窗,通过多种虚拟场景反馈足踝关节角度、步行耐力和步态质量等内容,为动态调整运动负荷和强度,重建运动控制,及时矫正异常步态,减少代偿性损伤提供精准依据,更有利于提高踝关节力线稳定性,为实现足踝功能全面重

建奠定基础。

3.3 基于 IVR 技术的运动康复方案能显著提患者术后康复依从性 本研究结果显示,两组患者康复依从性评分的时间、组间与交互效应均显著,且干预后 2、6、12 周后观察组康复依从性评分显著高于对照组(均 $P<0.05$)。与 Cheng 等^[22]的研究结果一致,可能原因为 IVR 技术对患者内在康复动机和行为具有一定的重塑作用。一方面 IVR 创造的沉浸式环境能够有效吸引并占用患者的注意力资源,减轻患者对疼痛、疲劳及重复训练枯燥感的感知,降低坚持训练的意志力消耗。另一方面本研究开发的虚拟现实训练系统,内置有反馈功能,患者每完成一个动作,系统自动显示准确度评分和进度提示,在关键节点设置游戏化闯关模式,成功后给予虚拟奖励,这种基于奖赏的即时反馈系统,强化了患者控制感与成就感,可提升患者长期坚持意愿。此外,IVR 方案通过游戏化设计将正确的康复动作与即时的愉悦奖励紧密联结,不断强化正确行为模式,有助于将训练融入日常生活,最终促使高依从性的康复行为从一项需要意志维持的任务,转化为一种稳定的行为习惯。总之,IVR 技术通过优化训练体验与重塑行为的双重路径,从根本上保障了康复训练的依从性。

3.4 基于 IVR 技术的康复方案能显著提高患者术后生活质量 本研究结果显示,两组患者生活质量评分存在显著的时间、组间及交互效应,且干预后 12 周,观察组生活质量评分显著高于对照组($P<0.05$)。与 Kim 等^[23]的研究结果一致,说明随时间推移两组的生活质量总体维度均有提高,观察组提升幅度优于对照组。虚拟现实训练的新奇体验和游戏乐趣有助于缓解抑郁和烦躁等负性情绪,提升社交参与及心理韧性^[6]。本研究将虚拟现实训练结合心理调节、功能重建与社会支持等多维路径,通过游戏化场景设计和体验,有效缓解患者焦虑情绪。同时,IVR 动态场景与专项康复训练相结合,可以同步改善关节功能与运动协调性,显著降低疼痛评分和运动恐惧水平。这种躯体—心理同步干预模式不仅提高了患者的日常生活能力,更通过生物反馈调节增强了康复信心,使社会角色功能得到显著改善。因此,IVR 技术驱动的整合式康复方案能突破传统康复瓶颈,实现患

者生理功能和心理状态的双重提升,为生活质量改善提供了新路径。

4 结论

基于 IVR 技术构建的距腓前韧带损伤患者术后康复方案能改善患者的足踝功能、减轻疼痛、提高运动康复依从性和生活质量。本研究样本量相对较小、涉及人群单一、干预时间较短。未来研究建议扩大样本量,纳入不同年龄段的患者,延长随访周期,进一步探索 IVR 技术参数设置与康复效果的关系,为临床应用提供更加详细的指导方案。

附件 1 康复指导视频
请用微信扫码查看



参考文献:

[1] Huang Q, Ji X X, Zhu W H, et al. A new method of anterior talofibular ligament reconstruction:arthroscopically artificial ligament reconstruction with tensional remnant-repair[J]. Chin J Traumatol,2023,26(6):317-322.

[2] Ulku T K, Kocaoglu B, Tok O, et al. Arthroscopic suture-tape internal bracing is safe as arthroscopic modified Broström repair in the treatment of chronic ankle instability[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc,2020,28(1):227-232.

[3] Feng S M, Maffulli N, Niek van Dijk C, et al. All-inside arthroscopic procedures for chronic lateral ankle instability: evidence-based clinical practice guidelines [J]. Br Med Bull,2025,154(1):1-21.

[4] David A P, Kreigh A K. Chronic lateral ankle instability: open surgical management [J]. Foot Ankle Clin,2018,23(4):539-554.

[5] 崔佰红,顾海燕,张徐萍. 前交叉韧带重建术后患者居家康复护理中可穿戴设备的应用[J]. 护理学杂志,2024,39(10):93-96.

[6] Weakley J, Cowley N, Schoenfeld B J, et al. The effect of feedback on resistance training performance and adaptations:a systematic review and meta-analysis[J]. Sports Med,2023;53(1)789-803.

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

[8] Kitaoka H B, Alexander I J, Adelaar R S, et al. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes [J]. Foot Ankle Int,1997,18(3):187-188.

[9] 赵根,李涵,李宝,等. 距腓前韧带修复后肌内效贴抗阻平衡训练[J]. 中国矫形外科杂志,2023,31(23):2197-2201.

[10] Joseph S P, David A P, James J S, et al. Postoperative weight bearing and rehabilitation after foot and ankle surgery[J]. Foot Ankle Spec,2020,13(4):330-334.

[11] 张志杰. 渐进性跳跃稳定训练对功能性踝关节不稳者平

衡能力和步态特征的影响[D]. 苏州:苏州大学,2022.

[12] 付光亮,孟庆华,鲍春雨. 功能性踝关节不稳者本体感觉力学差异及平衡训练干预效果[J]. 应用力学学报,2021,38(6):2426-2431.

[13] 冯仕明,翟宏伟,周敬杰,等. 全关节镜下距腓前韧带修复技术治疗慢性踝关节外侧不稳定加速康复外科方案江苏专家共识[J]. 中华骨与关节外科杂志,2022,15(1):1-9.

[14] Tanmay S, Patricia F. Early versus late weight bearing and ankle mobilization in the postoperative management of ankle fractures:a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Foot Ankle Surg,2022,28(7):827-835.

[15] Tanja K, Felix S, Kirsten A H, et al. Using the Oxford Foot Model to determine the association between objective measures of foot function and results of the AOFAS Ankle-Hindfoot Scale and the Foot Function Index: a prospective gait analysis study in Germany [J]. BMJ Open,2018,8(4):e019872.

[16] Brewer B W, Van Raalte J L, Petitpas A J, et al. Preliminary psychometric evaluation of a measure of adherence to clinic-based sport injury rehabilitation[J]. Phys Ther Sport,2000,1(3):68-74.

[17] Framework I C. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36) [J]. Med Care,1992,30(6):473-483.

[18] 李鲁,王红妹,沈毅. SF-36 健康调查量表中文版的研制及其性能测试[J]. 中华预防医学杂志,2002,36(2):109-113.

[19] Akther K F, Noor R, Roy M, et al. Role of virtual reality-assisted distraction in reducing labor pain and improving delivery outcomes[J]. J Evid Based Med Res,2025,1(3):32-35.

[20] Levit T, Grzela P, Lavoie D C T, et al. The effectiveness of virtual and augmented reality in surgical pain management: a systematic review of randomized controlled trials [J]. Anesth Analg,2025,140(6):1388-1400.

[21] Niloofar M, Mohammad R H, Gholam R O. Compare the effect of traditional and virtual reality training on subjective-sense of instability and balance in basketball-players with functional ankle instability: matched randomized clinical trial[J]. J Biomed Phys Eng,2023,13(3):269-280.

[22] Cheng Q, Li F, Zhang Q, et al. The impact of virtual reality on cardiopulmonary function and adherence in cardiac rehabilitation patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Healthcare,2025,13(22):2969.

[23] Kim K, Choi B, Lim W. The efficacy of virtual reality assisted versus traditional rehabilitation intervention on individuals with functional ankle instability: a pilot randomized controlled trial[J]. Disabil Rehabil Assist Technol,2019,14(3):276-280.

(本文编辑 黄辉,吴红艳)