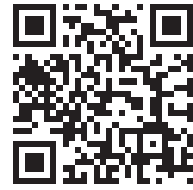


DOI:10.61189/431884kthiqo

· 医学教育 ·

冠心病术后元宇宙沉浸式训练体系构建及教学模式研究

赵伟林¹, 张 雯², 余 情^{2*}

1. 复旦大学附属中山医院康复医学科, 上海 200032

2. 复旦大学附属中山医院教育处, 上海 200032

[摘要] 冠心病患者血运重建术后规范化地进行康复训练,是改善患者心功能、提高运动耐力、改善预后的重要治疗方式。然而目前的心脏康复方式存在着训练场景单一、个体化方案把控不准、居家锻炼执行力缺乏等问题。近年来,随着人工智能技术的不断创新与成熟,具备中山特色的元宇宙虚实融合平台为打破康复训练瓶颈提供了新思路。本文依托元宇宙沉浸式交互技术与穿戴式动态心电监测技术,拟构建适配冠心病患者血运重建术后规范化心脏康复的一体化干预应用体系,并明确该应用体系的实施流程、风险管控标准与临床适配规范。通过“体系构建、场景模块化设计、循证指南对标、教学分层建模”四法并驱的方式进行探讨。整体冠心病术后康复构架设计将分为虚拟现实(virtual reality, VR)沉浸式运动训练模块、穿戴式动态心电实时采集模块、人工智能(artificial intelligence, AI)心电风险预警模块三大核心单元。根据冠心病患者术后功能状态划分康复分期,并以此建立个体化康复场景、分级运动干预标准、心电异常分级判定体系及应急处置流程。同时结合康复科临床教学需求,依托“复旦中山惠生智育”探讨可落地的专科教学转化模式,为后续临床正式开展该新型康复方案提供完整理论框架、技术路径与实践依据。

[关键词] 元宇宙;沉浸式运动训练;心脏康复;医学教学转化**[中图分类号]** R 541 **[文献标志码]** A

Research on the construction of metaverse-based immersive training system and teaching modes for postoperative coronary artery disease patients

Zhao Weilin¹, Zhang Wen², Yu Qing^{2*}

1. Department of Rehabilitation Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

2. Education Department, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

[Abstract] Standardized rehabilitation training for patients with coronary artery disease following coronary revascularization surgery is a core therapeutic strategy to improve postoperative cardiac function, boost exercise tolerance and optimize long-term prognosis. However, mainstream cardiac rehabilitation methods currently suffer from three prominent limitations: monotonous training scenarios, poorly individualized regimen titration, and poor adherence to home-based exercise regimens. In recent years, alongside iterative advances and technical maturation in artificial intelligence (AI), the Zhongshan-specific metaverse platform featuring virtual-physical integration has offered novel insights into overcoming bottlenecks in cardiac rehabilitation training. Leveraging metaverse-based immersive interactive technology and wearable dynamic electrocardiogram (ECG) monitoring technology, this study aims to develop an integrated intervention system tailored to standardized cardiac rehabilitation for coronary artery disease patients post coronary revascularization. It further defines the system's implementation workflow, risk control protocols and clinical eligibility criteria. The research adopts four methodological approaches: system architecture development, scenario-based modular design, alignment with evidence-based clinical guidelines, and hierarchical competency-based teaching modeling. The postoperative cardiac rehabilitation framework consists of three core functional modules: virtual reality (VR) immersive exercise training, wearable real-time

[收稿日期] 2026-04-30**[接受日期]** 2026-05-29

[基金项目] 上海申康医院发展中心管理研究项目(2025SKMR-21),上海市卫生健康委员会2026年卫生健康行业发展课题(定向类)(2026HP30),高等教育科学研究规划课题(24CX0201),复旦大学附属中山医院管理科学基金(2024ZSGL14),复旦大学附属中山医院医学人文和思政调研课题(SZ2024-4). Supported by Research Project of Shanghai Shengkang Hospital Development Center (2025SKMR-21), 2026 Health Industry Development Project (Targeted Program) of Shanghai Municipal Health Commission (2026HP30), Higher Education Scientific Research Planning Project (24CX0201), Management Science Foundation of Zhongshan Hospital, Fudan University (2024ZSGL14), and Medical Humanities and Ideological and Political Research Project of Zhongshan Hospital, Fudan University (SZ2024-4).

[作者简介] 赵伟林,博士,住院医师;E-mail: 1105971524@qq.com

*通信作者(Corresponding author). 余 情,博士,主任医师;E-mail: yu.qing@zs-hospital.sh.cn

dynamic ECG data acquisition, and AI-powered ECG risk early warning. Rehabilitation phases are stratified according to patients' postoperative functional capacity. On this basis, we established individualized immersive rehabilitation scenarios, graded exercise intervention thresholds, a tiered judgment system for ECG abnormalities, and standardized emergency response workflows. Meanwhile, to meet clinical teaching demands in cardiac rehabilitation departments, this study explores a sustainable specialty teaching transformation model supported by the *Fudan Zhongshan Huisheng Intelligent Education* platform. The findings will provide a comprehensive theoretical framework, technical roadmap and empirical evidence for the large-scale clinical translation of this innovative cardiac rehabilitation protocol.

[Key Words] metaverse; immersive exercise training; cardiac rehabilitation; medical teaching transformation

心血管疾病是全球范围内导致残疾和死亡的首要原因,对我国居民健康构成严重威胁^[1]。其中冠心病的发病率和死亡率呈逐年上升趋势^[1-2]。冠脉血运重建(包括经皮冠脉介入治疗和冠脉旁路移植术)是治疗冠心病的重要方式^[3-5]。然而冠脉血运重建术后,患者多发生活动耐力下降、危险因素控制不佳、感染、焦虑抑郁、谵妄等问题^[6-7]。不仅严重阻碍患者重归家庭和工作,且使社会经济负担加重、家庭劳动力损失^[8]。大量循证医学证据^[9-10]显示:冠心病患者冠脉血运重建术后规范化地进行心脏康复可显著改善患者运动耐力、恢复心功能、降低远期主要不良心血管事件发生率、提升远期生存质量。心脏康复是冠心病患者冠脉血运重建术后的核心治疗方式^[11-12]。

目前国内心脏康复已形成统一分期干预标准,院内Ⅰ期康复、居家Ⅱ期康复、社区长期维持Ⅲ期康复模式逐步普及^[11]。基于《中国冠心病心脏康复循证实践指南》及《中国心血管疾病患者居家康复专家共识》,中等强度有氧运动训练和阻抗运动训练成为常规心脏康复运动模式^[11,13]。冠心病术后心脏康复形成了分期明确、运动统一的常规康复模式。但上述常规心脏康复模式在临床实际推行过程中存在诸多难以突破的现实短板:(1)康复运动形式单一、内容枯燥,中老年术后患者普遍存在运动恐惧、参与积极性不足问题,整体康复长期依从性偏低;(2)传统康复中心电监测多为阶段性定时检测,无法实现运动全程同步心电实时监控,对于运动负荷诱发的无症状心肌缺血、隐匿性室性心律失常等高危异常事件难以早期识别,运动康复安全阈值难以精准把控;(3)现有康复干预多采用同质化运动处方,缺少依据患者实时心脏电生理状态进行动态调整的个体化调控机制;(4)心脏康复专科人才培养体系尚不健全,青年医师普遍存在运动康复方案制定能力薄弱、运动负荷心电判读经验不足等问题,制约整体心脏康复规范化、智能化发展。

随着数字医疗、智慧康复产业快速发展,以VR/

AR沉浸式交互、虚拟场景构建、动作姿态捕捉为核心的元宇宙技术,逐步进入心脏康复临床应用领域^[14-17]。相较于传统康复模式,元宇宙沉浸式训练可通过多元化虚拟自然场景、休闲运动场景替代单一平地步行训练,具备趣味性强、场景贴近生活、心理疏导作用突出等优势,能够有效缓解冠心病术后患者焦虑情绪与运动抵触心理^[18]。穿戴式长时程动态心电监测设备日趋小型化、便携化、医用化,可实现全天候、全场景心电数据连续采集,搭配边缘端智能分析算法,可快速识别运动状态下各类心电异常改变,实现从“事后回顾分析”向“事中实时预警”转变^[19-21]。将二者进行技术融合,打造虚实结合、生理数据实时联动、风险动态可控的新型智慧心脏康复模式,成为现阶段心脏康复领域重要探索方向。目前国内极少有研究系统性完成二者联合应用的完整流程架构、分级实施标准、风险管控体系与院内教学转化模式一体化构建。

基于此,本文旨在提出一套完整、规范、符合临床指南、可直接落地执行的元宇宙+动态心电冠心病术后心脏康复应用实施方案,同时搭建配套医学教学转化体系,明确项目开展必备条件、人员配置、设备需求、实施步骤、安全管控要点,为早期实践提供全套标准化依据,从而发挥元宇宙心脏康复体系的临床实践指导价值与医学教育应用价值。

1 体系构建总体思路

本研究以临床实际应用落地为导向,严格遵循《中国冠心病心脏康复循证实践指南》、《中国心血管疾病患者居家康复专家共识》等心血管疾病心脏康复相关权威指南,整合元宇宙智慧康复硬件技术,依次完成:技术架构搭建→分期康复场景设计→动态心电监测标准建立→运动强度分级调控规范→三级风险预警与应急流程建立→院内医学教学转化模型构建→整体方案可行性综合论证,最终形成完整成套可执行应用体系。

1.1 模块化体系构建 将整体康复体系拆分为硬

件支撑模块、沉浸式训练场景模块、动态心电采集分析模块、临床康复管理模块、安全风险管控模块五大独立模块。五大模块分别进行单独设计,再完成模块之间数据互通、流程串联、指令联动,实现整体一体化协同运行。

1.2 场景分层设计 延续冠心病患者冠脉血运重建术后康复分期标准,依据冠心病患者术后恢复时间、心功能分级、运动耐受能力,划分早期、中期、后期三大康复阶段。针对不同的康复阶段,设计差异化虚拟沉浸式训练场景、运动时长、运动频率及活动强度,实现分层适配。平台构建成功后,初期适用患者需符合《中国冠心病心脏康复循证实践指南》I、II、III期康复指征,接受冠脉介入治疗或冠脉旁路移植术,术后病情稳定的冠心病患者,患者无视觉、前庭功能严重障碍,可耐受VR设备使用并且配合完成VR沉浸式训练及穿戴设备佩戴。

1.3 教学分层建模 按照实习医师、规范化培训医师、在职临床康复医师3类不同医师类型,分别设计基础型、提升型、实战型3类元宇宙心脏康复教学内容,建立理论学习、虚拟仿真操作、病例方案推演三级教学流程,完成教学转化模式定型。

2 元宇宙沉浸式训练联合动态心电监测心脏康复应用体系构建

2.1 整体四层协同技术架构搭建 目标是建立患者端数据采集、数据传输及智能分析研判、康复调控及终端医患管理“四位一体”的协同技术方案。(1)前端数据采集主要承担患者端数据采集及沉浸式场景体验功能,包含虚拟场景视觉沉浸、肢体运动姿态捕捉、穿戴式心电信号连续采集及生命体征同步固定,从而实现患者运动行为、心电活动、基础生命体征多源数据同步采集。(2)依托院内数据无线传输模式,实现前端采集所有运动数据、心电数据、体征数据实时上传,搭载元宇宙AI智能数据分析,保障运动过程中心电异常信号可快速完成传输与后台识别,满足临床实时风险监控基本需求。同步匹配预设运动康复安全阈值,完成自动化风险等级初步判定。(3)康复医师根据实时数据反馈结果,结合患者基础病情,调整患者运动强度及训练时长,切换沉浸式训练场景,实现个体化康复方案调控。(4)在医师终端层实现患者全程数据的康复档案管理,并进行康复阶段性评定。根据阶段性评定结果,微调康复方案,彻底改变传统统一化康复处方模式,实现精准化智慧康复。在患者终端层实现训练任务接收、虚拟场景体验、运动引导、健康知识推

送等基础功能。

2.2 冠心病患者血运重建术后元宇宙沉浸式康复场景标准化设计 核心是通过VR、AR技术构建逼真且可交互的模拟训练场景,以适用于不同康复阶段的患者。(1)早期康复阶段以躯体活动能力恢复及消除运动恐惧为核心目标。可设定虚拟病房舒缓活动场景、自然林间慢走场景、静水湖畔静坐放松场景、全身关节舒缓拉伸场景等。通过低负荷主被动运动,舒缓心理情绪和恢复躯体运动适应性。(2)中期康复阶段的主要目标是逐步提升躯体运动耐力、改善心肺储备功能。理想的模拟运动场景为城市休闲步道匀速步行、园林沉浸式太极康复训练、肢体协同运动、平缓坡道缓步上行。在动态心电全程监控的前提下,循序渐进提升活动量,逐步达到临床常规二期康复运动负荷标准。(3)后期康复为长期康复维持阶段。可通过虚拟户外休闲骑行、平缓山地徒步、轻量休闲互动运动等贴近日常生活的休闲运动模式,以期达到巩固康复效果、维持心肺功能状态、养成长期规律运动习惯。

2.3 动态心电监测临床应用标准建立 通过康复训练前静息基线心电采集、元宇宙沉浸式运动全程同步监测、运动结束后心脏恢复阶段连续监测,实现一次完整康复训练全流程心电全覆盖采集。结合心血管运动心电诊断标准,将运动过程中心电异常划分为轻度异常、中度异常、重度高危异常3个等级,明确各级初步干预原则,为后续自动化预警提供统一判定依据。

2.4 AI心电预警模块技术细节 (1)算法基础:采用基于卷积神经网络(CNN)+长短期记忆网络(LSTM)的混合深度学习模型,依托本院既往万余例运动心电数据完成模型训练与验证,专注识别运动状态下心肌缺血、各类室性心律失常、ST-T段异常等特征波形。(2)数据处理:穿戴设备采样频率250 Hz,实时降噪、去除运动伪影,保障复杂运动状态下心电信号有效性。

2.5 三级智能风险预警与临床应急处置流程建立 建立三级风险预警。一级轻度风险预警触及后系统自动语音提醒患者放缓运动节奏、调整呼吸模式,康复医师后台持续观察。二级中度风险预警后系统自动下调沉浸式训练运动强度,弹窗推送风险提示信息,康复医师场评估患者主观症状,决定是否终止运动,短时休息。三级重度高危风险预警时,系统立即自动终止所有沉浸式康复训练,同步向医护工作站推送高危预警信息,现场康复医师第一时间开展临床症状评估、生命体征监测,严格遵

循冠心病术后心血管不良事件应急流程完成处置,全面保障康复训练临床安全性。

2.6 VR设备相关核心安全性防控体系 针对中老年冠心病患者使用VR设备及运动训练的特有风险,建立专项防控方案,解决晕动症、跌倒、交感神经应激三大核心问题:(1)VR晕动症防控。设备选型:选用低延迟、高刷新率医用VR设备,降低视觉眩晕;场景优化:初期采用静态、低速、广角柔和场景,避免快速镜头切换、高空、旋转类画面;分级适应:首次使用单次时长 ≤ 10 min,逐步延长;若出现头晕、恶心,立即停止使用,休息观察。(2)跌倒风险防控。环境改造:院内训练区域铺设防滑软垫,移除障碍物;居家康复要求患者在固定座椅/扶手区域开展训练;姿态监测:依托动作捕捉技术,实时识别躯体失衡状态,及时语音提醒。(3)交感神经应激防控。场景规避:删除刺激、紧张类虚拟画面,全部采用自然、舒缓场景;体征联动:实时监测心率、血压,若心率较静息状态增幅超过50%,自动下调运动负荷。(4)通用应急流程:所有不良事件均同步记录入研究数据库,建立不良事件上报台账。

3 元宇宙心脏康复配套医学教学转化模式构建

3.1 教学转化总体定位 在“复旦中山惠生智育”元宇宙平台总体框架下,心脏康复可作为面向全周期医学教育的重要专科拓展方向,服务于院校医学教育、毕业后医学教育和继续医学教育不同阶段的教学需求。填补智能化心脏康复教学空白。院校医学教育重点掌握冠心病术后康复基础分期知识、熟悉沉浸式康复基本设备操作、识别常见康复期正常与异常心电图表现。毕业后医学教育要求熟练掌握运动负荷下心电图异常判读方法、独立完成基础沉浸式康复训练方案制定、掌握康复运动风险初步识别能力。继续医学教育的目标则是熟练应用整套联合康复体系运行流程、具备高危心电图风险研判能力、可独立完成个体化精准康复方案设计与不良事件处置。

3.2 全周期标准化教学实施流程 结合理论知识学习、元宇宙虚拟仿真实训、临床实操实践、教学过程管理与能力评价4个方面,实现全周期标准化心脏康复教学实施。(1)理论知识学习以《中国冠心病心脏康复循证实践指南》《中国心血管疾病患者居家康复专家共识》等心血管疾病心脏康复相关权威指南为基础,结合元宇宙智慧康复技术原理、穿戴式动态心电图临床应用价值、运动康复心血管风险防控要点开展系统化课堂教学,搭建扎实理论基础。(2)

依托元宇宙虚拟教学场景,虚拟标准化患者病例,模拟不同术后恢复阶段患者开展沉浸式康复模拟推演。使学员不再孤立地学习操作步骤,而是在具体情境中理解技术选择、实施时机和协同应用逻辑,增强技术教学的情境性与临床贴近性。(3)组织学员现场观摩整套联合康复模式完整实施流程,协助完成心电图数据整理、康复档案录入、阶段性康复效果汇总等基础工作,实现虚拟实训向真实临床场景平稳过渡。(4)依托全周期教学管理中枢,实现技术训练过程管理与能力评价。对学员在情境训练中的操作流程完成度、规范性、安全意识、适应证判断能力及综合应用表现进行全过程记录与评价,为后续分层培训和持续改进提供依据。

4 讨论

4.1 元宇宙沉浸式训练联合动态心电图监测体系的临床应用价值 在传统心脏康复模式发展进入平台期的背景下,本研究整合前沿数字医疗技术与经典心血管康复诊疗思维,搭建形成一套流程完整、标准统一、安全可控的新型智慧康复应用体系。该体系从患者体验层面,依靠多元化虚拟沉浸场景改善康复体验,缓解术后负面情绪与运动恐惧,从根源上提升康复主观参与意愿;从临床安全层面,依靠全程动态心电图实时监测,打破传统阶段性监测的局限性,实现运动康复风险早发现、早预警、早干预,最大程度规避运动诱发心血管不良事件;从康复精准性层面,建立心电图数据反向调控运动处方的运行逻辑,推动冠心病术后心脏康复从“经验型康复”向“数据驱动型精准康复”转型,契合当下智慧医疗、精准康复整体发展趋势。

4.2 元宇宙联合监测模式相较传统心脏康复的差异化核心优势 传统冠心病术后心脏康复长期存在训练场景单一、运动内容枯燥、中老年患者运动恐惧突出、长期康复依从性偏低等现实难题,同时常规心电图监测无法覆盖运动全程,难以识别潜在高危心血管事件,且康复处方多同质化制定,缺乏个体化精准化的动态调整机制。本研究构建的元宇宙沉浸式训练联合穿戴式动态心电图监测体系,针对传统心脏康复模式存在的瓶颈,建立多维度不可替代的差异化突破。

(1)场景维度突破,依托VR/AR虚拟交互技术构建林间慢走、湖畔静坐、城市步道、山地徒步等生活化沉浸式场景,替代传统单调平地步行与简单拉伸,将机械性康复训练转化为趣味化、场景化身心体验,有效消解患者运动抵触心理。(2)监测维度升

级,实现静息基线、运动全程、恢复阶段全流程不间断心电数据采集,由传统“事后回顾式分析”转变为“事中实时预警式管控”,精准捕捉运动负荷诱发的隐匿性心电异常,补齐传统康复安全监测短板。(3)处方维度个体化赋能,以实时心电生理指标、运动耐受能力为依据,动态调节运动强度、训练时长与虚拟训练场景,实现精准医疗,摆脱同质化康复处方弊端。(4)双心康复协同增益,元宇宙舒缓虚拟场景兼具运动训练与心理干预双重效应,可有效改善术后焦虑、抑郁、谵妄等心理问题,同步实现躯体功能康复与精神心理调适,契合现代双心医学康复理念。

4.3 教学转化模式对于心脏康复人才培养的推动作用 目前国内心脏康复专科人才缺口较大,传统以课堂讲授为主的教学模式难以培养具备实战能力的康复从业人员。本研究依托“复旦中山惠生智育”元宇宙平台,借助数字化虚拟病例实现无限制反复实操训练,即可提高学习舒适度与积极性,又可丰富教学病种,避免临床实例教学时的病种空缺。此外涵盖院校教育、毕业后教育与继续教育的全周期教育模式能够快速批量提升不同学习阶段的医护人员对于智能化心脏康复的认知水平与实操能力,为科室长期开展新型心脏康复项目储备稳定专业人才队伍。

4.4 体系构建的循证契合性与临床规范化适配价值 本体系构建方案整体架构、康复分期划分、运动干预原则均严格对标《中国冠心病心脏康复循证实践指南》《中国心血管疾病患者居家康复专家共识》等权威循证依据,并非脱离临床实际的完全性创新。方案将元宇宙沉浸训练、穿戴式心电监测、AI风险预警等数字技术嵌入现有成熟康复体系,既保留传统心脏康复的诊疗逻辑、运动负荷标准与干预原则,又通过技术赋能补齐传统模式短板。三级风险预警机制及应急处置流程,与不良事件急救流程高度契合,临床兼容性与可落地性强。采用“循证指南为基底、数字技术为赋能”的建设思路,使整套体系既契合数字化医疗的医学发展前景,又具备较高的可行性。

4.5 一体化康复延伸应用与普惠推广前景 当前我国心脏康复存在院内康复落实较好、Ⅱ期居家康复与Ⅲ期社区维持康复断层明显的现状,普遍存在居家锻炼缺乏专业指导、无实时心电监护、运动方案不规范、依从性难以管控等痛点。本方案构建的元宇宙联合动态心电康复体系具备极强的外延适配性,穿戴式心电设备小型便携、元宇宙虚拟场景可

适配家庭终端、AI风险预警可脱离中心独立运行,康复医师可通过后台远程实时监控患者居家运动状态、心电波动变化,在线调整康复处方、推送健康宣教与心理疏导内容。同时将标准化康复场景、心电监测规范、风险预警流程下沉至社区与家庭,降低基层开展智慧心脏康复的准入门槛,助力心脏康复的全程康复服务向普惠化、同质化、网格化方向发展。

4.6 人工智能算法迭代与体系远期智能化升级空间 本方案目前仅实现AI心电信号基础识别、三级风险规则化预警与运动强度初步调控,整体仍处于结构化规则应用阶段,深层次智能研判与自主决策能力仍有较大提升空间。后续随着临床病例积累、运动心电大数据归集,可训练心脏康复专属深度学习模型,实现心电异常精准分型、运动耐力自动评估、康复预后风险预测及个体化运动处方智能生成。未来可整合心率、血压、血氧、运动姿态、心理量表等多模态数据,构建多因子综合康复风险预测模型,由单一心电风险预警升级为全身多维度康复态势研判。推动心脏康复向自动化、智能化服务方向持续演进。

4.7 方案局限性与未来研究推进方向 本方案仅完成整套联合康复应用体系的理论架构、实施流程、安全标准与教学模式构建,尚未进入临床实际应用阶段,缺乏真实临床应用过程中的流程优化经验与实际运行问题总结,这是本研究现阶段最主要局限性。后续科室正式启动该智慧心脏康复项目后,可沿用本研究确立的康复分期标准、心电监测方案、风险管控流程开展临床实践,逐步纳入符合标准的冠心病术后康复患者,系统收集运动耐力、心功能状态、心电异常事件、康复依从性等相关临床数据,并设计前瞻性对照研究,进一步论证该联合干预模式的真实临床康复疗效,不断完善优化整套应用体系内容。

伦理声明 无。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

作者贡献 赵伟林:论文具体构思与撰写;张雯:论文框架指导及审核;余倩:论文整体设计与修改。

参考文献

- [1] 国家心血管病中心,中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2024 概要[J]. 中国循环杂志, 2025, 40(6): 521-559.
- [2] Canan A, Kay F U. Coronary artery disease reporting and data system update[J]. Radiol Clin N Am, 2025, 63(4): 669-680.

- [3] Kittleson M M. Chronic coronary artery disease[J]. *Ann Intern Med*, 2025, 178(10): ITC145–ITC160.
- [4] Zhang N, Xie B Q, Du J X, et al. Effect of acupuncture and exercise rehabilitation on quality of life in acute coronary syndrome patients after percutaneous coronary intervention[J]. *Am J Transl Res*, 2024, 16(6): 2662–2669.
- [5] 林 深, 马涵萍, 袁 硕, 等. 复杂冠心病血运重建策略内外科专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2022, 37(11): 1073–1085.
- [6] Simon M, Korn K, Cho L, et al. Cardiac rehabilitation; a class 1 recommendation [J]. *Clevel Clin J Med*, 2018, 85 (7) : 551–558.
- [7] 国家心血管病中心,《冠状动脉旁路移植术后心脏康复专家共识》编写委员会. 冠状动脉旁路移植术后心脏康复专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(1): 4–15.
- [8] Huang Y J, Zhang R, Culler S D, et al. Costs and effectiveness of cardiac rehabilitation for dialysis patients following coronary bypass[J]. *Kidney Int*, 2008, 74(8): 1079–1084.
- [9] McMahon S R, Ades P A, Thompson P D. The role of cardiac rehabilitation in patients with heart disease [J]. *Trends Cardiovasc Med*, 2017, 27(6): 420–425.
- [10] Rauch B, Salzwedel A, Bjarnason-Wehrens B, et al. Cardiac rehabilitation in German speaking countries of Europe—evidence-based guidelines from Germany, Austria and Switzerland LLKardReha-DACH—part 1[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(10): 2192.
- [11] 中华医学会物理医学与康复学分会, 四川大学华西医院. 中国冠心病康复循证实践指南(2024版)第一部分[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2024, 46(6): 481–491.
- [12] 中华医学会物理医学与康复学分会, 四川大学华西医院. 中国冠心病康复循证实践指南(2024版)第二部分[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2024, 46(7): 577–586.
- [13] 中国心血管疾病患者居家康复专家共识编写组. 中国心血管疾病患者居家康复专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2022, 37 (2): 108–121.
- [14] García-Bravo S, Cuesta-Gómez A, Campuzano-Ruiz R, et al. Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review[J]. *Disabil Rehabil*, 2021, 43 (4): 448–457.
- [15] Peinado-Rubia A B, Verdejo-Herrero A, Obrero-Gaitán E, et al. Non-immersive virtual reality-based therapy applied in cardiac rehabilitation: a systematic review with meta-analysis [J]. *Sensors (Basel)*, 2024, 24(3): 903.
- [16] Chen Y Y, Cao L, Xu Y N, et al. Effectiveness of virtual reality in cardiac rehabilitation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Int J Nurs Stud*, 2022, 133: 104323.
- [17] Wang S K, Jiang J J, Zhang C Y, et al. Effect of virtual reality-based cardiac rehabilitation on mental health and cardiopulmonary function of individuals with cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2025, 106(6): 949–960.
- [18] Cortés-Pérez I, Obrero-Gaitán E, Verdejo-Herrero A, et al. Immersive virtual reality reduces depression, anxiety and stress in patients with cardiovascular diseases undergoing cardiac rehabilitation: a systematic review with meta-analysis [J]. *Heart Lung*, 2025, 70: 102–111.
- [19] Harbi A S, Soh K L, Yubbu P B, et al. Digital health intervention in patients undergoing cardiac rehabilitation: systematic review and meta-analysis [J]. *F1000Res*, 2024, 13: 596.
- [20] Indraratna P, Biswas U, McVeigh J, et al. A smartphone-based model of care to support patients with cardiac disease transitioning from hospital to the community (TeleClinical care) : pilot randomized controlled trial [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2022, 10(2): e32554.
- [21] 仲艳丽, 李丽娟, 曹晓红. 穿戴式长程动态心电监测记录仪在冠心病患者 PCI 术后的应用研究[J]. *临床误诊误治*, 2025, 38(9): 77–81.

引用本文

赵伟林, 张 雯, 余 倩. 冠心病术后元宇宙沉浸式训练体系构建及教学模式研究[J]. *元宇宙医学*, 2026, 3(2): 142–封三.

Zhao W L, Zhang W, Yu Q. Research on the construction of metaverse-based immersive training system and teaching modes for postoperative coronary artery disease patients[J]. *Metaverse Med*, 2026, 3(2): 142–inside back over.