

智能康复机器人在心血管疾病术后康复中的应用前景分析

杨鼎国

北京 100010

DOI:10.61369/MRP.2026060031

摘要： 心血管疾病是全球高发慢性病，其外科手术与介入治疗技术渐成熟，但术后康复是影响患者预后等的关键短板。传统心血管术后康复模式存在资源失衡、个体化不足等问题，难满足康复需求。智能康复机器人借助前沿技术，能精准调控训练、监测信号、预警风险与优化方案，为术后康复革新提供支撑。本文梳理术后康复需求，剖析机器人技术体系与原理，阐述其应用价值，结合证据验证效果，探讨面临挑战，分析发展趋势，旨在为智能康复技术在心血管康复领域推广提供参考与思路。

关键词： 智能康复机器人；心血管疾病；术后康复；精准康复；智慧医疗；临床应用

Analysis of Application Prospects of Intelligent Rehabilitation Robots in Postoperative Rehabilitation for Cardiovascular Diseases

Yang Dingguo

Beijing 100010

Abstract： Cardiovascular diseases are globally prevalent chronic conditions, with surgical and interventional treatment technologies becoming increasingly mature. However, postoperative rehabilitation remains a critical bottleneck affecting patient prognosis. Traditional postoperative rehabilitation models for cardiovascular diseases suffer from resource imbalances and insufficient individualization, making it difficult to meet rehabilitation needs. Intelligent rehabilitation robots leverage cutting-edge technologies to precisely regulate training protocols, monitor signals, predict risks, and optimize treatment plans, thereby providing support for postoperative rehabilitation innovation. This study systematically reviews postoperative rehabilitation requirements, analyzes the technical framework and principles of robotic systems, elucidates their clinical value, evaluates evidence-based efficacy, discusses challenges, and examines future trends. The aim is to provide references and insights for the promotion of intelligent rehabilitation technologies in cardiovascular rehabilitation fields.

Keywords： intelligent rehabilitation robot; cardiovascular disease; postoperative rehabilitation; precision rehabilitation; smart healthcare; clinical application

引言

随着居民生活方式转变和人口老龄化加速，心血管疾病成为我国居民死亡首要原因。《中国心血管健康与疾病报告2023概要》显示，我国心血管疾病患者增多，外科手术和经皮介入治疗虽提升了重症患者短期生存率，但术后康复管理问题突出。心血管术后康复是综合性干预体系，规范康复可降低再入院率等、改善心肺功能与生活质量。然而，我国传统心血管术后康复模式存在局限，如康复医疗资源短缺且分布不均、基层康复服务能力弱，传统康复依赖人工经验、方案同质化、难匹配个体心功能、无法实时管控、老年患者依从性低、康复效果差。在此情况下，智能康复机器人凭借智能化等优势，逐步应用于心血管术后康复领域。目前，其在心血管康复领域的应用处于初步探索与临床验证阶段，相关技术适配性等问题尚未完全解决。本文全面分析其应用价值、现存问题与发展前景，推动其规范化、规模化应用，助力我国心血管疾病全程管理体系完善。

一、心血管疾病术后康复的核心需求与智能康复机器人技术基础

（一）心血管疾病术后康复的核心临床需求

心血管疾病术后患者身体机能和心功能个体差异大，康复周期长、风险管控要求高，临床康复需求有四个维度：一是精准安全运动康复需求，运动康复是核心，因患者心肌功能未恢复完全，需结合多项指标定制方案、精准管控训练以避风险；二是实时连续生理监测需求，术后康复期需动态监测多项指标并及时预警，传统人工监测难以满足；三是长期持续康复依从性需求，康复周期长、老年患者多，康复训练枯燥且居家缺指导，患者易中断训练，需智能化、趣味化手段提升主动性和持续性；四是全周期闭环康复服务需求，术后康复要实现医院、社区、家庭无缝衔接，构建全周期服务体系，解决出院后康复断档问题。

（二）智能康复机器人的核心技术体系

智能康复机器人是融合多领域技术的复合型医疗设备，其技术体系围绕全流程构建，适配心血管术后康复需求。首先，多模态生理传感技术是安全康复核心，整合传感器采集多维数据，为评估和优化提供支撑。其次，依托人工智能与算法技术，对采集数据深度分析，构建模型匹配方案、调整参数、识别异常信号、提升预警能力。再次，柔性驱动与自适应控制技术针对患者特点，避免机械损伤，自适应调整辅助力度、幅度并切换训练模式。最后，人机交互与远程通信技术结合多种技术提升交互体验、缓解负面情绪，依托网络实现数据互通，支持远程监控和指导，打破空间限制。

二、智能康复机器人在心血管疾病术后康复中的应用场景与临床效果

（一）主要应用场景

1. 术后精准运动康复：运动康复是智能康复机器人核心应用场景。针对心血管术后患者心肺功能下降等问题，不同类型智能康复机器人进行差异化康复干预，如下肢外骨骼康复机器人辅助步行训练，上肢康复机器人针对上肢活动受限训练，平衡训练机器人改善肢体平衡能力，呼吸康复机器人指导呼吸训练。

实时生理监测与风险预警：智能康复机器人搭载多模态传感模块，在康复训练时实时监测关键生理指标。设定生理阈值，当监测到异常信号时，机器人自动停止或降低训练强度，并向医护端、家属发送预警信息，保障术后康复安全。

心理干预与康复依从性提升：心血管术后患者易产生负面情绪，降低康复依从性。智能康复机器人具备情感化语音交互等功能，可提供正向激励与心理疏导。通过设定阶梯式康复目标和趣味化训练任务，结合居家康复模式，提升康复训练趣味性 with 参与感，进而提升长期康复依从性。

2. 院内外一体化远程康复：依托5G与云端数据平台，智能康复机器人搭建医院 - 社区 - 家庭三级远程康复体系。在院内，医护人员用机器人开展早期康复训练并采集数据；患者出院后，使用居家型机器人训练，康复数据实时传至云端，医护人员可远程查看进度、评估效果并调整方案；针对基层患者，还可进行远程会诊与指导，实现全周期闭环康复服务。

（二）临床应用效果

多项临床研究和循证医学证据证实，智能康复机器人用于心血管疾病术后康复优势显著。在心功能与运动耐力改善上，下肢外骨骼机器人辅助康复能提升冠心病术后患者峰值摄氧量、6分钟步行距离和左心室射血分数，较传统人工康复，患者运动耐力提升更显著且无新增心血管不良事件。在康复安全性方面，基于多模态传感的智能康复机器人可使术后康复不良事件发生率降低超60%，其实时预警机制能规避运动过量风险，提升安全性。在康复依从性与生活质量方面，其趣味化、居家化康复模式使患者术后6个月康复依从率提至75%以上，远高于传统康复组，还能改善患者心理与生活质量评分。在医疗资源利用方面，智能康复机器人可减少人工康复师工作量，提升康复服务效率，缩短患者术后住院时间，降低术后再入院率，兼具临床与社会效益。

三、智能康复机器人在心血管术后康复应用中面临的挑战

（一）技术层面：适配性与兼容性有待提升

目前，多数智能康复机器人最初针对神经、骨科康复研发，针对心血管术后康复的专用机型少，技术适配性不足。部分机器人训练模式、强度调控无法完全匹配心功能不全患者耐受度，缺乏针对重症心衰、复杂心脏病术后患者的康复模块；其传感设备精度、算法准确性需优化，对隐匿性心电异常信号识别率有待提高；此外，不同品牌机器人数据标准不统一，与医院电子病历、心电监测系统兼容性差，形成数据孤岛，无法实现康复与临床诊疗数据互通共享。

（二）成本层面：价格高昂制约普及推广

智能康复机器人属于高端医疗设备，研发成本、生产成本较高，大型医用机型售价达数十万元至百万元，居家便携型机型价格也远超普通患者承受范围。基层医疗机构、社区康复中心因资金有限，难以批量采购；居家康复患者无法承担设备购置与维护费用，导致技术应用集中于大型三甲医院，难以向基层、家庭场景普及，制约了技术的规模化应用。

（三）临床与政策层面：应用规范与保障体系缺失

一方面，智能康复机器人在心血管术后康复应用中，缺乏统一临床指南、操作规范和疗效评价标准，适应证、禁忌证等缺乏明确界定，医护人员应用无章可循，规范性不足；另一方面，我国未将相关康复服务纳入医保支付范围，患者需全额承担费用，降低了技术应用可及性；同时，智能康复技术的行业监管和质量管控体系不完善，设备安全性、有效性长期验证缺乏统一标准。

四、智能康复机器人在心血管疾病术后康复中的应用前景

（一）技术融合创新：推动康复精准化与智能化升级

未来，人工智能、脑机接口等技术将与智能康复机器人深度融合提升性能。基于大语言模型的智能决策系统可精准制定个体化康复处方；脑机接口技术让重症、肢体活动严重受限患者通过脑电信号控制机器人训练，拓展应用人群；柔性材料和微型化技

术推动机器人便携化、穿戴化，降低使用门槛，适配居家康复场景；统一医疗数据标准，打通数据壁垒，实现全流程数据互通，构建精准化智慧康复体系。

（二）服务模式创新：完善院内外一体化康复网络

依托智能康复机器人，将逐步构建“院内早期康复－社区过渡康复－居家长期康复”的一体化服务模式，打破康复空间限制。医院配备专业医用型机器人，为术后早期患者提供精准康复干预；社区卫生服务中心配备普及型机器人，为出院患者提供就近康复指导；居家患者使用便携穿戴式机器人，实现居家自主康复，医护人员通过云端远程监控、随访，形成全程化、连续性康复服务，弥补传统康复服务的断层问题，让更多基层、偏远地区患者受益。

（三）产业与政策协同：降低成本完善保障体系

随着技术成熟和规模化生产，智能康复机器人研发、生产成本将降低。同时，政府加大对智能康复医疗产业扶持，推动国产

设备研发迭代，打破国外技术垄断以压低价格；将康复服务纳入医保和商保报销范围，探索设备租赁、共享模式，减轻医疗机构和患者负担；加快出台心血管术后智能康复临床指南、技术规范 and 行业标准，完善监管体系，推动技术规范和标准应用。

五、结论

心血管疾病术后康复是全程管理关键环节，智能康复机器人以精准训练等功能，破解传统康复难题，改善患者术后心功能，降低不良事件发生率，有广阔临床价值与前景。当前，其应用面临技术适配不足等挑战，需从多维度发力推动规范化、规模化、普惠化应用。未来，随着前沿技术融合和医疗保障完善，智能康复机器人将成心血管术后康复核心设备，推动传统康复转型，为提升康复水平、改善患者预后提供支撑，助力健康中国战略实施。

参考文献

[1] 王辰,高润霖,胡盛寿,等. 中国心血管健康与疾病报告2023概要 [J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52(1): 1-20.

[2] 周明,李娟,张健. 心血管疾病术后运动康复的现状与智能化发展趋势 [J]. 中华物理医学与康复杂志, 2023, 45(7): 549-552.

[3] 刘鹏,赵志刚,陈勇. 下肢外骨骼机器人在冠心病术后康复中的临床应用研究 [J]. 中国康复医学杂志, 2022, 37(8): 1078-1082.

[4] 陈明,林巧,黄岚. 可穿戴传感器融合智能康复机器人在心脏康复中的安全预警机制研究 [J]. 生物医学工程学杂志, 2023, 40(2): 310-317.

[5] 张伟,王丽,杨海波. 人工智能驱动的个体化心脏康复处方系统构建与应用 [J]. 中国数字医学, 2022, 17(11): 34-38.

[6] 李雪,赵宇,马晓伟. 智能康复机器人对老年心血管术后患者生活质量及依从性影响的随机对照研究 [J]. 中华老年医学杂志, 2023, 42(5): 567-571.

[7] 胡浩,谢海洋,王浩. 5G+物联网技术支撑下远程心脏康复体系的构建与实践 [J]. 中国医疗器械杂志, 2022, 46(6): 677-681.

[8] Smith J, Jones A, Brown K. Exoskeleton robots for cardiac rehabilitation after coronary artery bypass surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. Journal of Rehabilitation Medicine, 2022, 54(3): 124-132.

[9] Patel N, Lee S, Miller T. Cost-utility analysis of AI-integrated robotic rehabilitation in cardiovascular disease[J]. Value in Health, 2023, 26(4): 589-596.

[10] European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). Clinical practice guidelines for digital health and telecardiac rehabilitation[J]. European Heart Journal, 2023, 44(18): 1678-1692.