

重点选题“心脏康复”·专题专栏

# 远程心脏康复——数字健康技术在心血管疾病管理中的应用与挑战<sup>▲</sup>

庄洪波<sup>1</sup> 刘刚<sup>2</sup> 许丹焰<sup>3\*</sup>

(1 湘潭医卫职业技术学院医技学院康复教研室,湖南省湘潭市 411201;

2 湖南科技大学体育学院,湖南省湘潭市 411201;

3 中南大学湘雅二医院心血管内科,湖南省长沙市 410011)



许丹焰,医学博士,教授、主任医师,博士研究生导师,中南大学湘雅二医院内科副主任,心内科心脏康复专科主任,美国加州大学戴维斯分校内科心血管研究中心访问学者,全国科普先进个人,湖南省健康教育专家,湖南省科技骨干人才,获宝钢全国优秀教师奖。研究方向为血脂与动脉粥样硬化、心脏康复、心力衰竭、高血压。担任国家自然科学基金重点/面上项目二审专家,主持国家自然科学基金6项、教育部新世纪人才计划1项、湖南省自然科学基金1项,主持中南大学慢性心力衰竭临床数据库。发表论文100余篇,主/参编著作10余部,获省部级科技成果奖6项。担任中华医学会基础学组委员、中国康复医学会心血管专业委员会委员、中国心脏联盟心脏康复与预防专业委员会湖南联盟常务副主任委员、美国心肺康复学会专家会员、美国心脏病协会会员等,担任多本SCI权威期刊审稿专家。

**【摘要】** 数字健康技术主要包括可穿戴设备、移动医疗技术、人工智能、机器学习、云计算、健康大数据分析等。远程心脏康复基于数字健康技术在家庭或社区环境中提供心脏康复服务,打破了传统心脏康复的局限,可显著提高心血管疾病患者对康复治疗的参与度和依从性,优化医疗资源配置,为心血管疾病管理提供新的解决方案。本文通过探讨远程心脏康复的发展历程、核心技术、实施模式、效果评估、面临的挑战与解决方案,以及展望其未来发展,以期对心血管疾病管理提供新的视角和策略。

**【关键词】** 远程心脏康复;数字健康技术;心血管疾病;疾病管理;应用;挑战;综述

**【中图分类号】** R 49 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 0253-4304(2024)06-0808-07

**DOI:** 10.11675/j.issn.0253-4304.2024.06.05

## Tele-cardiac rehabilitation: application and challenges of digital health technology in the management of cardiovascular diseases

ZHUANG Hongbo<sup>1</sup>, LIU Gang<sup>2</sup>, XU Danyan<sup>3</sup>

(1 Teaching and Research Section of Rehabilitation, School of Medical Technology, Xiangtan Medicine & Health Vocational College, Xiangtan 411201, Hunan, China; 2 School of Physical Culture, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China; 3 Department of Cardiovascular Medicine, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410011, Hunan, China)

**【Abstract】** Digital health technology mainly contains wearable devices, mobile medical technology, artificial intelligence, machine learning, cloud computing, and health big data analysis, etc. Tele-cardiac rehabilitation provides

▲基金项目:湖南省社会科学成果评审委员会重点课题(XSP22ZDI006)

第一作者简介:庄洪波,硕士,教授,研究方向为运动康复及康复教育。

\*许丹焰为通信作者。

cardiac rehabilitation services in the home or community environment based on digital health technology, breaks the limitations of traditional cardiac rehabilitation, can significantly improve the participation and compliance of patients with cardiovascular diseases on rehabilitation therapy, optimizes the allocation of medical resources, and can provide innovative solutions for management of cardiovascular diseases. In this paper, through exploring development history, core technology, implementation mode, effectiveness evaluation, challenges faced and solutions of tele-cardiac rehabilitation, the future development of tele-cardiac rehabilitation is prospected, aiming at providing novel perspectives and strategies for management of cardiovascular diseases.

**【Key words】** Tele-cardiac rehabilitation, Digital health technology, Cardiovascular diseases, Disease management, Application, Challenges, Review

心血管疾病是全球范围内导致人类死亡的主要原因之一,对公共卫生构成了重大挑战。中国心血管疾病的患病率呈现逐年上升且年轻化的趋势<sup>[1]</sup>。心脏康复作为心血管疾病二级预防的关键组成部分,已被证实在降低疾病复发率和病死率等方面具有显著效果,同时可以明显提升患者的生活质量<sup>[2]</sup>。然而,心脏康复的重要性虽被广泛认可,但其传统模式常受到地理位置和资源分配不均衡的限制,影响了心脏康复的应用和普及。此外,患者对传统心脏康复的依从性较低,康复效果欠佳,这一问题亟须解决。数字健康技术是指利用数字技术以改善健康服务、管理健康数据、促进健康教育和提高个人健康水平的一系列技术手段<sup>[3]</sup>,通常包括可穿戴设备、移动医疗、人工智能、机器学习、云计算、健康大数据分析、虚拟现实和增强现实技术、在线健康社区、区块链技术。随着数字健康技术的发展和进步,远程心脏康复(tele-cardiac rehabilitation, Tele-CR)应运而生,为心血管疾病管理提供新的解决方案。Tele-CR利用数字健康技术突破了传统心脏康复在地理和时间上的限制,使得患者在家中或社区即可接受专业的康复指导和监测<sup>[4]</sup>,有望提高治疗效果并降低医疗成本。本文通过探讨Tele-CR的发展历程、核心技术、实施模式、效果评估、面临的挑战与解决方案,以及展望其未来发展,以期对心血管疾病管理提供新的视角和策略。

## 1 Tele-CR的发展历程

1.1 心脏康复的传统模式及其局限性 心脏康复是一种旨在改善心血管疾病患者心脏功能和生活的多维度干预措施,包括医学评估、运动训练、健康

教育、心血管风险管理和心理支持等<sup>[5]</sup>。心脏康复在心血管疾病的二级预防中扮演着关键角色,但在实施过程中面临诸多挑战。心脏康复的传统模式可划分为住院期、出院后的早期门诊期和长期的门诊或家庭期<sup>[6]</sup>。传统模式下的心脏康复服务通常由医院或专业康复中心提供,但受限于地理位置和医疗资源分配不均衡,其在城市中心较为集中,而郊区和农村地区则相对缺乏<sup>[7]</sup>。上述服务分布不均的现象,以及患者面临的时间和交通成本,不利于心脏康复服务的普及。此外,传统心脏康复在服务便捷性、患者依从性及长期康复持续性上亦存在缺陷,这些不足限制了心脏康复服务的普及和长期效果<sup>[8]</sup>,影响心脏康复的效果,限制心脏康复在心血管疾病管理中的潜力,需要探索新的解决方案。

1.2 Tele-CR的初步探索与实践 为了有效应对传统心脏康复所面临的挑战,Tele-CR应运而生<sup>[9]</sup>。Tele-CR利用信息通信技术在家庭或社区环境中提供心脏康复服务,通过电话、视频会议、移动应用程序和可穿戴设备等工具,为患者提供灵活且易于接受的康复途径<sup>[10-11]</sup>。这种模式允许患者通过在线平台接受专业的运动指导、健康教育和心理支持,不受地理位置和时间的限制,从而显著提高患者的参与度和依从性,实现医疗资源配置的优化<sup>[12]</sup>。

有关Tele-CR的初步探索性研究和应用实践表明,Tele-CR在提高患者的运动能力、生活质量等方面与传统心脏康复具有相似的效果,而在节约经济和时间成本上具有明显优势<sup>[13-14]</sup>。此外,Tele-CR在提高患者依从性、减少医疗费用及提升服务便捷性方面具有较好的潜力<sup>[15]</sup>。例如,基于互联网开展的心脏康复可以为农村和其他偏远地区的患者提供服务,有助于减少医疗资源分布不均衡导致的影响<sup>[16]</sup>。

1.3 数字健康技术在Tele-CR中的作用 数字健康技术在Tele-CR领域正逐渐成为提升医疗质量和干预效果的关键因素。基于对患者生命体征的实时监测,可穿戴设备和移动医疗技术可为个性化治疗方案的制定提供精确的数据支持<sup>[17-18]</sup>。人工智能和机器学习算法在分析患者数据、预测健康风险及制订个性化康复计划方面展现出显著优势,有助于优化患者治疗策略<sup>[19]</sup>。云计算和大数据分析技术为存储、处理和分析患者数据提供强大的支撑平台,可提升治疗方案的个性化水平和临床决策的准确性<sup>[20]</sup>。虚拟现实技术的应用为患者提供沉浸式、互动性强的康复体验,增强康复训练的趣味性和效果<sup>[21-22]</sup>。移动应用程序和可穿戴设备等技术可实时监测患者的生理参数,为医疗团队提供重要数据支持,有助于评估患者康复进程和健康状况<sup>[23]</sup>。5G技术的高速率和低延迟性为远程监控和实时交互提供技术保障,极大提升Tele-CR的响应速度并显著改善用户体验,进一步提高远程康复指导和与患者互动的质量<sup>[21,24]</sup>。

然而,尽管数字健康技术具有诸多优势,但其应用和普及亦引发人们对数据安全、隐私保护和技术接受度的担忧。因此,制定严格的数据保护政策和采取有效的技术措施确保患者信息安全至关重要。在应用数字健康技术的过程中,医疗专业人员和政策制定者需要共同努力,解决伴随而来的诸多挑战,从而能够安全、有效地利用先进技术,并提高患者的康复获益。

## 2 Tele-CR的核心技术

2.1 可穿戴设备与移动医疗技术的应用 可穿戴设备是Tele-CR领域的重要组成部分,智能手表、心率监测器和活动追踪器等设备能够实时监测患者的心率、血压、步数和睡眠质量等生理参数<sup>[11,15]</sup>。心率监测手表、便携式心电监护仪和加速度计等可穿戴设备已被用于心脏康复患者的运动强度监测和行为反馈<sup>[12]</sup>。患者的生理参数被集成至移动医疗应用程序后,生成的健康数据可以实时传输给医疗专业人员,从而实现远程监测和个性化健康反馈。此外,将可穿戴设备与移动医疗技术获得的数据用于人工智能和机器学习技术分析,有助于发现患者的健康问题或预测健康风险,从而提供个性化康复建议,提升疾

病管理的效率和效果<sup>[25]</sup>。这些技术的应用,不仅可以提高患者的依从性,还能增强患者康复计划的个性化和实时性。可穿戴设备和移动医疗技术在Tele-CR中的应用,提高了心脏康复的可及性和便利性,并有助于实现精准而高效的疾病管理,标志着医疗保健服务模式已步入向个性化和预防性方向转变的重要阶段。

2.2 人工智能与机器学习在健康和疾病监测中的作用 心脏康复研究的热点与演变,与心脏康复模式的转变相一致,这一过程充分显示人工智能和机器学习在适应患者需求和提供个性化康复方案中的重要性<sup>[25]</sup>。在Tele-CR领域,人工智能和机器学习算法通过分析可穿戴设备收集的大量数据,评估患者的健康趋势,识别心脏疾病的潜在发生风险和早期发作迹象,预测康复进程和可能的并发症,为临床决策提供支持,从而实现对患者的精准医疗干预<sup>[21,26]</sup>。这些技术的应用,可为患者制订更为精准和个性化的康复治疗方案,同时亦可为医疗专业人员提供强大的数据支持和决策工具,优化患者的运动强度和持续时间,实现康复效果最大化并降低心脏事件发生风险,显著提升疾病管理的效率和治疗效果。

2.3 云计算与大数据分析在疾病管理中的重要性 云计算技术具有出色的数据存储和处理能力,可为Tele-CR提供强大的数据技术支撑,其允许医疗团队访问和分析患者的生理参数、治疗反应和生活方式信息,有助于精准的临床决策<sup>[27]</sup>。医疗团队利用云计算平台能够访问和分析来自患者的海量数据,而不必担心发生数据丢失或硬件故障的风险<sup>[28]</sup>。大数据分析技术进一步帮助医疗团队从庞大的数据集中提取对揭示疾病模式和预测健康趋势至关重要的信息<sup>[29]</sup>,这对于疾病管理、效果评估和临床决策意义重大。云基础设施的可扩展性和可靠性能保障数据的安全性和隐私性,同时允许医疗专业人员在不同的时间和地点访问患者数据,提高工作效率和治疗的连续性。王晓辉等<sup>[29]</sup>的研究表明,智慧医疗产品在针对瓣膜置换术后患者的远程康复管理中的应用,展现出云计算和大数据分析技术在提高患者的用药依从性、预防不良事件和促进心脏康复方面的显著优势。因此,在Tele-CR中,云计算和大数据分析技术的应用为实现精准医疗和提高心血管疾病治疗效果提供了强有力的技术支持。

综上,可穿戴设备、移动医疗、人工智能、机器学习、云计算、大数据分析等技术的联合应用,有助于提高心脏康复的效率和效果,为心血管疾病管理带来新的机遇。

### 3 Tele-CR 的实施模式

**3.1 基于家庭的心脏康复计划** 基于家庭的心脏康复计划是利用现代数字健康技术为患者提供个性化居家心脏康复训练计划的一种创新模式。该计划利用可穿戴设备和移动医疗技术实时监测患者的生理参数和活动数据,并通过智能设备为患者提供专业指导<sup>[22]</sup>。在实施此类心脏康复计划期间,患者应具备自我管理的能力,并且需要家庭成员的支持。研究表明,基于家庭的心脏康复计划不但能提高患者的康复训练依从性,减少地理位置的限制,降低医疗成本<sup>[22]</sup>,还可以通过可穿戴设备和移动医疗技术监测患者的生命体征,对心脏疾病的预防和康复具有重要意义<sup>[4]</sup>。在资源有限的地区,基于家庭的心脏康复计划的便利性和可及性优势尤为突出。综上,基于家庭的心脏康复计划在提高患者康复效果和优化资源配置方面具有重要的价值和良好的应用前景。

**3.2 虚拟康复中心与在线服务平台** 虚拟康复中心与在线服务平台作为康复领域的创新模式,是基于互联网技术为多种疾病患者(包含心脏病患者)提供全面的个性化康复服务的线上支持系统。该平台所提供的服务方式包括视频咨询、远程监测、在线课程和社区支持等,旨在创建一个互动性强、信息丰富的线上康复环境<sup>[30]</sup>。患者可以通过视频会议与医疗团队实时互动,获取个性化的康复计划和反馈,从而显著提高其对康复训练的参与度和依从性<sup>[31]</sup>。虚拟现实技术亦是虚拟康复中心与在线服务平台所采用的重要技术之一,通过互动式和沉浸式训练,提高康复的趣味性和患者的参与度<sup>[22]</sup>。此外,该平台还可提供与康复相关的教育资料、健康信息和心理健康支持等资源,帮助患者有效管理疾病,并根据患者的反馈和疾病进展情况,及时调整康复计划,确保康复的连续性和个性化。

虚拟康复中心与在线服务平台能够汇集大量健康数据,并基于大数据结果为患者提供精准的健康管理服务,这不仅有利于提升康复服务的可及性和

效果,还可减少患者面对面接触的需求,对于心血管疾病管理,尤其在传染性疾病预防等特殊时期的疾病管理具有重要意义<sup>[12]</sup>。未来应着重于优化平台功能,持续提高患者对这一新兴康复模式的接受度和使用效果。综上,虚拟康复中心和在线服务平台已成为Tele-CR的重要工具,可为患者提供便捷、灵活的康复服务,为心脏康复领域带来创新和改进。

**3.3 多学科团队合作模式** 多学科团队的合作对于全面开展Tele-CR至关重要。由心脏病专家、康复医师、物理治疗师、营养师、心理咨询师和社会工作者等专业人员组成的多学科团队,通过云计算和大数据分析技术的应用,能够共享患者信息,协同制订及调整个性化康复治疗计划,充分契合患者的具体需求、偏好和生活状况,提升康复治疗的有效性和可持续性,提高康复效果和患者满意度<sup>[7]</sup>。此外,多学科团队还可以承担提供社会支持和心理干预的任务,帮助患者应对心血管疾病带来的心理和社会挑战<sup>[15]</sup>。吴迪等<sup>[32]</sup>的研究表明,多学科团队合作可以提高心脏康复的安全性和有效性,但目前还存在医护人员工作职责混淆和专业人才缺乏的问题,亟须建立优化的智能平台以提升整合资源的能力。此外,建立跨学科培训计划对于构建多学科团队、提升医护人员对Tele-CR的理解和应用能力尤为关键,有助于确保患者获得更高质量的康复服务<sup>[33]</sup>。

### 4 Tele-CR 的应用效果

**4.1 提升患者的参与度与依从性** 研究表明,相较于传统心脏康复,Tele-CR能更好地提高患者的康复治疗参与度和依从性<sup>[11]</sup>。李沪生等<sup>[12]</sup>发现,接受基于数字技术心脏康复的患者,其康复治疗依从性明显高于接受传统心脏康复的患者。虚拟现实技术在Tele-CR中的应用使心脏康复更具趣味性,增强了患者的参与兴趣,进而提升其对康复治疗的依从性<sup>[21]</sup>。可穿戴设备和远程监测技术的应用有助于实时追踪患者的心脏康复进展,不仅能够增强患者的自我管理能力,也可以促使医疗团队及时调整康复治疗方案,以不断满足患者的个性化需求<sup>[32]</sup>。数字健康技术在心脏康复中的应用,有效解决传统心脏康复中心所面临的地理限制问题,使患者可以居家进行个性化的康复训练,减少时间成本并减轻经济负担,从而

提高患者坚持康复计划的可能性<sup>[15]</sup>。因此,Tele-CR模式通过其高效、便捷的服务,以及对患者个性化需求的持续关注,充分体现出其在心血管疾病管理中的显著优势。

**4.2 改善患者的心脏功能与生活质量** Tele-CR已被证实是一种有效的心血管疾病管理工具,可显著提升患者的心脏功能<sup>[27]</sup>和生活质量<sup>[23,34]</sup>。王晓辉等<sup>[29]</sup>的研究表明,Tele-CR在瓣膜置换术后管理中具有显著效果,可提高患者的用药依从性,预防不良事件的发生,促进患者心脏功能的恢复。孙逸凡等<sup>[4]</sup>发现,Tele-CR可减轻患者的焦虑和抑郁情绪,从而提升患者的整体生活质量。Vieira等<sup>[23]</sup>的研究结果显示,基于虚拟现实技术的Tele-CR能有效改善患者的身体成分,减小其腰臀比,从而提高患者的生活质量。通过定期的运动训练、健康教育、心理健康支持和社交互动,Tele-CR可增强患者的心肺耐力、肌肉力量,提高其日常活动能力,同时还可改善患者的情绪状态和社交参与度,最终提升患者的生活质量<sup>[22-23]</sup>。

**4.3 优化成本效益** 成本效益分析是评估Tele-CR经济可行性的重要手段。开展Tele-CR前,需要投入资金进行基础建设,如相关设备采购和平台建设等。而Tele-CR的服务半径大,且可减少患者往返医院的交通费用,缩短住院时间,节省住院费用,从长期来看其可有效降低医疗成本。研究表明,与传统心脏康复相比,Tele-CR可降低患者的时间成本和医疗机构的运营成本,提高医疗服务效率<sup>[35]</sup>。Nakayama等<sup>[34]</sup>的研究表明,新型冠状病毒感染疫情期间,Tele-CR与门诊心脏康复的效果相当,已成为替代传统心脏康复的一种有效手段。Scherrenberg等<sup>[36]</sup>的研究结果显示,Tele-CR较传统心脏康复更具有成本效益。此外,对于心血管疾病患者,Tele-CR可减少心血管疾病导致的工作缺勤和生产率下降的现象,实现社会层面的成本节约<sup>[34]</sup>。由此可见,Tele-CR作为一种心血管疾病管理模式,具有显著的经济优势和良好的推广潜力。

## 5 Tele-CR面临的挑战与解决方案

**5.1 技术接受度与患者教育水平** 近年来,Tele-CR为心血管疾病患者提供了一个便捷高效的康复途径。然而,尽管Tele-CR在促进心血管疾病患者康复方面展现出巨大的潜力,但患者接受度仍是Tele-CR

推广过程中需要面临的挑战。研究表明,患者对Tele-CR的接受度受其年龄、教育水平和经济状况的影响,尤其是老年患者,可能因其不熟悉新技术的应用而导致对Tele-CR的接受度普遍较低<sup>[37]</sup>。因此,应在患者中积极开展Tele-CR相关知识的教育和培训,确保患者了解Tele-CR的优势,熟练掌握远程康复设备和应用程序的使用方法,从而增强对Tele-CR的信任感和接受度<sup>[38]</sup>。此外,简化Tele-CR应用程序的用户界面并提供个性化技术支持亦有助于提高患者对Tele-CR接受度。未来研究应聚焦于加强患者教育和优化技术支持,以进一步提升患者对Tele-CR技术的认知度和接受度。

**5.2 数据安全与个人隐私保护** 在Tele-CR的实施过程中,涉及患者个人健康信息的网络传输和存储,数据安全与个人隐私保护成为人们重点关注的问题<sup>[39]</sup>。第一,为确保患者信息的安全,必须制定严格的数据保护政策,在采用加密技术的同时,应制订专门的规程对数据访问权限进行分级管理<sup>[11]</sup>。第二,提高医护人员的数据安全意识,并确保患者充分地了解实施Tele-CR过程中对其个人信息的收集和使用情况,并掌握个人信息的保护方法<sup>[40]</sup>。第三,提高Tele-CR数据安全与隐私保护的知晓率,获得患者的知情同意,明确告知患者数据处理流程和隐私政策,如匿名化处理、数据安全处理协议及隐私政策<sup>[41]</sup>,确保患者了解其个人数据的处理和保护方式<sup>[41]</sup>,增强患者对Tele-CR服务的信任感。此外,有学者提出采用基于区块链安全性的分散式学习,即使用分布式和本地存储的数据来训练智能系统,以实现医疗健康数据共享,从而解决数据安全和个人隐私保护问题<sup>[42]</sup>。

**5.3 医疗体系整合与政策支持** Tele-CR作为一种创新的医疗实践,其在医疗体系整合方面的发展面临诸多挑战。Tele-CR在医疗体系整合中的问题主要表现为医疗重心偏移、医疗资源结构与分布不合理、服务碎片化等<sup>[43]</sup>,这限制了Tele-CR服务与现有医疗服务体系的对接。有研究表明,政府及其相关部门的积极引导和支持可以显著推动远程医疗技术的发展<sup>[29]</sup>。相关政策和标准的出台与完善,可使Tele-CR服务日趋规范化与标准化,促进其更好地融入现有医疗体系<sup>[44]</sup>。加强政策支持,推动医疗体系整合,提高多元主体参与度,建立统一协调机制,推动医疗保

险覆盖,加强宣传教育,以及鼓励技术支持与创新<sup>[45]</sup>,对于促进医疗资源的合理分配,以及提高Tele-CR服务的普及率和可及性具有积极的影响。

## 6 小结与展望

Tele-CR作为心血管疾病管理的一项新策略,通过可穿戴设备、移动医疗技术、人工智能和机器学习等技术的应用,突破传统心脏康复的地理限制,提供便捷的康复服务和指导,实现对患者的实时监测和个性化治疗,显著提高患者对康复治疗的依从性和康复效果,同时在优化成本效益与医疗资源、提升患者生活质量等方面展现出巨大潜力。5G通信、物联网、云计算和人工智能等技术的不断发展和进步,将为心血管疾病患者的实时健康监测和个性化康复治疗提供强有力的技术支撑,推动预测性分析和精准医疗的实现,最终达到提升心血管疾病的治疗效果和管理效率的目标。可穿戴设备、移动医疗技术、人工智能、机器学习等数字健康技术的升级和更新,可解决Tele-CR的数据安全和隐私保护等问题,通过跨领域、跨学科合作,充分发挥多学科交叉融合优势,不断优化基于家庭的Tele-CR康复计划,持续提高患者对Tele-CR康复计划的接受度和满意度,并增强其自我管理能力和实现Tele-CR的临床推广。进一步加强Tele-CR的成本效益研究,探索其在不同医疗体系中的经济可行性,并积极开展新技术在Tele-CR领域中的应用与探索,以解决Tele-CR实施过程中遇到的困难与挑战,多措并举,提升我国心血管疾病管理的整体水平。

## 参 考 文 献

- [1] 佚名.《中国心血管健康与疾病报告》2021(冠心病部分内容)[J].心肺血管病杂志,2022,41(12):1205-1211.
- [2] 刘建萍,郭卫婷,高伟,等.心脏康复患者运动恐惧体验质性研究的Meta整合[J].中华护理杂志,2024,59(4):474-481.
- [3] 葛振兴,李晓光,王慧.老年数字化健康管理研究进展[J].生命科学,2023,35(8):984-993.
- [4] 孙逸凡,刘伟静,徐亚伟.移动医疗与心脏康复[J].中国实用内科杂志,2022,42(5):353-357.
- [5] 王彩霞,薛燕文,吴骏,等.社区-家庭一体化的Ⅲ期心脏康复对老年冠心病患者自我效能及运动能力的影响[J].检验医学与临床,2024,21(2):166-169.
- [6] 乔琛琛,刘伟静,李科民.蚌埠地区开展心脏康复的现状与思考[J].中国实用内科杂志,2022,42(5):371-375.
- [7] 王天罡,王凤荣.心脏康复发展现状与思考[J].中华中医药学刊,2023,41(9):153-156.
- [8] 齐喜玲,许海燕,于子凯,等.冠心病患者出院后居家心脏康复依从性分析[J].中国康复医学杂志,2021,36(1):100-102.
- [9] Zampolini M, Todeschini E, Bernabeu Guitart M, et al. Tele-rehabilitation: present and future[J]. Ann Ist Super Sanita, 2008,44(2):125-134.
- [10] 涂舒涵,关红,王秋节,等.远程康复技术在心力衰竭病人心脏康复中的应用进展[J].护理研究,2023,37(8):1414-1419.
- [11] Zutz A, Ignaszewski A, Bates J, et al. Utilization of the internet to deliver cardiac rehabilitation at a distance: a pilot study[J]. Telemed J E Health, 2007,13(3):323-330.
- [12] 李沪生,张佳,周燕,等.移动医疗在心脏运动康复领域应用的范围综述[J].军事护理,2022,39(9):57-60.
- [13] 杨莹,熊晓云,魏雯婷,等.经皮冠状动脉介入治疗术后患者运动康复依从性的研究进展[J].军事护理,2023,40(11):19-22.
- [14] Bashir Z, Shahab A, Imran H. Comparison of telecardiac rehabilitation with centre-based cardiac rehabilitation and usual care: a protocol for systematic review including a meta-analysis[J]. Open Heart, 2022,9(2):e002018.
- [15] Lear SA. The delivery of cardiac rehabilitation using communications technologies: the "virtual" cardiac rehabilitation program[J]. Can J Cardiol, 2018,34(10 Suppl 2):S278-S283.
- [16] 沈玉芹.互联网+三级医院与社区卫生服务中心心脏康复转诊模式解析[J].中国全科医学,2019,22(21):2548-2550.
- [17] 王维民,程刚,谢杰,等.强化医院慢病管理服务的实践[J].中国医院,2017,21(3):79-80.
- [18] Munos B, Baker PC, Bot BM, et al. Mobile health: the power of wearables, sensors, and apps to transform clinical trials[J]. Ann N Y Acad Sci, 2016,1375(1):3-18.
- [19] Das S, Dey A, Pal A, et al. Applications of artificial intelligence in machine learning: review and prospect[J]. Int J Comput Appl, 2015,115(9):31-41.
- [20] Berisha B, Mëziu E, Shabani I. Big data analytics in cloud computing: an overview[J]. J Cloud Comput (Heidellb), 2022,11(1):24.

- [21] 金建芬, 陆 骏, 俞梦盈, 等. 虚拟现实技术在心脏康复患者中的应用进展[J]. 中华护理杂志, 2021, 56(2): 206-211.
- [22] 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.
- [23] Vieira Á, Gabriel J, Melo C, et al. Kinect system in home-based cardiovascular rehabilitation [J]. Proc Inst Mech Eng H, 2017, 231(1): 40-47.
- [24] 王立新, 郭 凰, 杨佳宇, 等. 无线通信在结构健康监测系统的应用研究综述[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(6): 2229-2241.
- [25] 李 擎, 杨 坚. 国际心脏康复研究发展与热点演变: 基于文献计量学分析[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(2): 280-287.
- [26] Shah P, Kendall F, Khozin S, et al. Artificial intelligence and machine learning in clinical development: a translational perspective [J]. NPJ Digit Med, 2019, 2: 69.
- [27] 何 瑛, 李 伦. 机器人在护理领域中的应用进展[J]. 中华护理杂志, 2018, 53(9): 1140-1143.
- [28] 卢 明, 俞燕娟, 李中东, 等. 基于家庭医护平台延续性护理模式的构建及应用[J]. 中华护理杂志, 2019, 54(12): 1851-1855.
- [29] 王晓辉, 吴 樱, 文 静, 等. 智慧护理产品在瓣膜置换术后患者远程康复管理中的应用与展望[J]. 护理学报, 2023, 30(12): 45-49.
- [30] 武 雨. 居家失能老人“互联网+”长期护理服务需求现状及影响因素分析[D]. 青岛: 青岛大学, 2022.
- [31] Menici V, Barzacchi V, Filogna S, et al. Tele-rehabilitation for postural control by means of virtual reality rehabilitation system in an adolescent with motor disorder: a case study [J]. Front Psychol, 2021, 12: 720677.
- [32] 吴 迪, 陶 明, 陈永梅, 等. 慢性心力衰竭患者Ⅱ期心脏康复的最佳证据总结[J]. 中华急危重症护理杂志, 2024, 5(3): 222-229.
- [33] 齐 建, 王志中, 姚尚满, 等. 跨学科合作医疗实践中医务社会工作整合模式建构研究[J]. 中国卫生事业管理, 2021, 38(4): 256-259.
- [34] Nakayama A, Takayama N, Kobayashi M, et al. Remote cardiac rehabilitation is a good alternative of outpatient cardiac rehabilitation in the COVID-19 era [J]. Environ Health Prev Med, 2020, 25(1): 48.
- [35] Kraal JJ, Van den Akker-Van Marle ME, Abu-Hanna A, et al. Clinical and cost-effectiveness of home-based cardiac rehabilitation compared to conventional, centre-based cardiac rehabilitation: results of the FIT@Home study [J]. Eur J Prev Cardiol, 2017, 24(12): 1260-1273.
- [36] Scherrenberg M, Falter M, Dendale P. Cost-effectiveness of cardiac telerehabilitation in coronary artery disease and heart failure patients: systematic review of randomized controlled trials [J]. Eur Heart J Digit Health, 2020, 1(1): 20-29.
- [37] Zhang YC, Leuk JSP, Teo WP. Domains, feasibility, effectiveness, cost, and acceptability of telehealth in aging care: scoping review of systematic reviews [J]. JMIR Aging, 2023, 6e40460.
- [38] Familoni BT, Babatunde SO. User experience (UX) design in medical products: theoretical foundations and development best practices [J]. Eng SciTech J, 2024, 5(3): 1125-1148.
- [39] 李 程, 袁 勇, 郑志勇, 等. 基于区块链的联邦学习: 模型、方法与应用[J/OL]. 自动化学报. (2024-05-08)[2024-05-10]. [https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=bd42u7TqVAG\\_VTjqhPhD6coPzOI85WC-AuK14eeiOLHs1MPjajw7BoNmdy0fD1icqBnemkWNxB-teqanEL4egzOvMGrLxfVICsSrTvQz0OFu5vtqFCCGP-7c\\_zfHvaiXHEgZRP11KxY=&uniplatform=NZKPT&language=CHS](https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=bd42u7TqVAG_VTjqhPhD6coPzOI85WC-AuK14eeiOLHs1MPjajw7BoNmdy0fD1icqBnemkWNxB-teqanEL4egzOvMGrLxfVICsSrTvQz0OFu5vtqFCCGP-7c_zfHvaiXHEgZRP11KxY=&uniplatform=NZKPT&language=CHS).
- [40] 周佳琳, 韩傲雪, 刘毓炜, 等. 医疗健康行业数据安全研究[J]. 中国卫生事业管理, 2021, 38(12): 916-917, 921.
- [41] 满洪杰. 健康医疗大数据治理的健康权面向[J]. 求是学刊, 2024, 51(2): 103-112.
- [42] Polap D, Srivastava G, Jolfaei A, et al. Blockchain technology and neural networks for the internet of medical things [C/OL]// IEEE. IEEE INFOCOM 2020-IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). Toronto: IEEE, 2020: 508-513. (2020-08-10)[2024-03-20]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9162735>.
- [43] 江 刚, 赵允伍, 王晓松, 等. 我国整合型医疗卫生服务体系构建策略探讨[J]. 南京医科大学学报(社会科学版), 2021, 21(5): 413-417.
- [44] 胡 祁, 林雯洁, 戴卫东. 医保渐进式整合对家庭消费的影响研究——基于多期DID的准自然实验[J]. 社会保障研究, 2024(1): 27-43.
- [45] World Health Organization. Draft global strategy on digital health 2020-2024 [EB/OL]. (2019-12-12)[2024-01-30]. <https://www.who.int/docs/default-source/documents/gS4dh0c510c483a9a42b1834a8f4d276c6352.pdf>.

(收稿日期: 2024-03-10 修回日期: 2024-05-17)