

数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中应用的范围综述

宋东玉¹ 王晓彤² 张昊天² 吕珊珊¹ 郑静¹

¹ 山东第一医科大学附属省立医院心脏大血管外科监护病区, 山东济南 250021; ² 山东第一医科大学护理学院, 山东泰安 271016

通信作者: 郑静, Email: zj1234560506@126.com

【摘要】目的 对数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的应用形式与内容、效果与干预策略进行梳理, 识别其优势与挑战, 为优化康复方案提供依据。**方法** 采用 Arksey 和 O'Malley 提出的范围综述框架, 系统检索科学网 (Web of Science)、美国国立医学图书馆 PubMed 数据库、荷兰医学文摘 Embase 数据库、EBSCO 数据库、中国知网 (CNKI)、万方数据库、维普数据库和中国生物医学文献数据库 (CBM) 从建库至 2025 年 5 月的中英文相关文献, 评估数字健康技术的应用范围及其对心脏康复结局的影响。**结果** 共纳入 9 篇文献。数字健康技术主要形式包括智能穿戴设备、虚拟现实技术、远程健康监测、远程医疗设备和移动应用程序/平台, 能显著提高患者康复效果和生活质量, 改善身体活动、心理健康, 减少就医频率和医疗费用。**结论** 数字健康技术在心脏康复中的应用为个性化治疗和持续监测提供了新的路径, 未来应加强技术支持与政策保障, 以推动其广泛应用。

【关键词】 数字健康技术; 心脏外科手术; 心脏康复; 范围综述

基金项目: 山东省中医药科技项目 (M20243601)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2026.01.010

Application of digital health technologies in cardiac rehabilitation following cardiac surgery: a scoping review

Song Dongyu¹, Wang Xiaotong², Zhang Haotian², Lyu Shanshan¹, Zheng Jing¹

¹Intensive Care Unit of Cardiac Surgery, Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan 250021, Shandong, China; ²School of Nursing, Shandong First Medical University, Taian 271016, Shandong, China

Corresponding author: Zheng Jing, Email: zj1234560506@126.com

【Abstract】Objective To examine the forms, content, effectiveness, and intervention strategies of digital health technologies in cardiac rehabilitation for patients undergoing cardiac surgery, identify their advantages and challenges, and provide evidence for optimizing rehabilitation programs. **Methods** Employing the scoping review framework proposed by Arksey and O'Malley, a systematic search was conducted in Web of Science, PubMed, Embase, EBSCO host, China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Wanfang Database, VIP Database, and the Chinese Biomedical Literature Database (CBM) for relevant Chinese and English literature published from the inception of each database to May 2025. This review aimed to assess the scope of digital health technology applications and their impact on cardiac rehabilitation outcomes. **Results** A total of 9 articles were included. The primary forms of digital health technologies identified include smart wearable devices, virtual reality technology, remote health monitoring, telehealth equipment, and mobile applications/platforms. These technologies were found to significantly enhance patient rehabilitation outcomes by improving physical activity and mental health, reducing healthcare utilization and medical costs, and improving patients' quality of life. **Conclusions** The application of digital health technologies in cardiac rehabilitation provides new avenues for personalized treatment and continuous monitoring. Future efforts should focus on strengthening technical support and policy safeguards to promote their widespread adoption.

【Key words】 Digital health technologies; Cardiac surgery; Cardiac rehabilitation; Scoping review

Fund program: Shandong Province Traditional Chinese Medicine Science & Technology Project (M20243601)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2026.01.010

心血管疾病是全球致残致死的主要原因之一^[1],我国心血管疾病患者已达 3.3 亿^[2]。心脏外科手术是心脏及大血管疾病的主要治疗手段,2024 年我国心脏大血管外科手术量达 360 765 例,且呈持续增长趋势^[3]。心脏康复是改善心脏外科手术患者术后心功能、提升生活质量、降低再入院率及病死率的关键措施^[4],其核心内容包括运动锻炼、营

养干预、心理支持和疾病相关知识指导等^[5-6]。欧洲心脏病学会、美国心脏病学会等权威组织已将心脏康复作为 I 级 A 类推荐写入指南,强调其在心血管疾病管理中的重要性^[7-8]。然而,心脏外科术后患者心脏康复参与率较低,研究数据显示血运重建术后患者的心脏康复参与率不足 50%^[9],而我国仅约 5% 的心血管病患者接受心脏康复治疗^[10],这

与我国医疗资源分布不匀、院内外衔接不畅及患者普遍存在运动恐惧心理密切相关^[11-12]。数字健康技术支持个体与医疗提供者在日常生活中进行健康数据交流、动态监测与实施个性化干预^[13],为心脏康复实施困境提供了新的解决路径。尽管研究显示,数字健康技术在心脏康复中有较强应用潜力^[14],但目前该技术在心脏外科术后康复中的应用范围、干预效果及潜在问题仍缺乏系统性梳理。因此,本研究采用范围综述方法学框架,系统探讨数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的应用方案与效果评价,旨在为相关干预的有效实施提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究方法:本研究采用 Arksey 等^[15]提出的范围综述框架完成系统化分析。该框架包含 5 个关键步骤:① 确定研究问题;② 文献检索;③ 文献筛选;④ 数据提取;⑤ 整理、总结与报告结果。

1.2 确定研究问题:本研究旨在了解国内外数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中应用的研究现状。具体包括:① 数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的主要应用形式和内容包括哪些方面?② 现有研究应用效果评价指标及应用效果如何?

1.3 文献检索策略:根据学者 Arksey 等^[15]提出的范围综述指导框架开展。采用主题词和自由词联合检索的方式,系统检索科学网(Web of Science)、美国国立医学图书馆 PubMed 数据库、荷兰医学文摘 Embase 数据库、EBSCO 数据库、中国知网(CNKI)、万方数据库、维普数据库和中国生物医学文献数据库(CBM)8 个数据库的相关文献,检索时限为建库至 2025 年 5 月。确定研究主题为数字健康技术、心脏外科术后患者和心脏康复。英文检索词为:(cardiac surgery OR heart surgery OR cardiac surgical procedures OR coronary artery bypass grafting OR heart valve surgery OR heart transplantation)AND(digital health OR digital medicine OR telehealth OR mhealth OR wearable device OR virtual reality OR artificial intelligence)AND(cardiac rehabilitation OR heart rehabilitation OR exercise therapy OR rehabilitation exercises OR pulmonary rehabilitation)。中文检索词为:[心脏外科手术 OR 瓣膜手术 OR 瓣膜置换 OR 瓣膜修复 OR 冠状动脉旁路移植(coronary artery bypass grafting, CABG)OR 心脏移植 OR 主动脉夹层]

AND(数字健康 OR 远程医疗 OR 远程康复 OR 移动健康 OR 移动应用 OR 可穿戴设备 OR 虚拟现实(virtual reality, VR)OR 人工智能 OR 健康信息技术 OR 应用程序)AND(心脏康复 OR 运动康复 OR 肺康复)。此外,为防止文献遗漏,对已纳入文献的参考文献和灰色文献进行了手工检索,尽可能查到详尽的资料。

1.4 文献筛选:根据研究对象、概念、情景(participants、concept、context, PCC)原则^[16]确定文献纳入与排除标准。纳入标准:① 研究对象为接受开胸心脏外科手术治疗的成年患者(年龄≥18 岁),手术包括心脏瓣膜置换术、CABG、心脏移植等;② 概念为数字健康技术在心脏康复中的应用,包括监测方法、干预方式等,如远程生理数据动态监测、VR 个性化干预等;③ 情景为心脏外科术后心脏康复环境,包括随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)、类实验研究、初步研究、观察性研究,研究开展地点不限。排除标准:① 未详细描述数字健康技术在心脏康复中的应用措施;② 文献类型为研究方案、指南、综述、意见、会议摘要和计划书;③ 无法获取全文;④ 非中、英文文献。

使用 NoteExpress 4.0 文献管理软件进行文献筛选。在完成 8 个数据库检索后,将文献导入文献管理软件,进行整理并删除重复文献。文献筛选由 2 名研究者独立进行,分两阶段实施。第 1 轮筛选,2 名研究者根据制定的纳入和排除标准审查文献标题及摘要,筛选出潜在相关文献;第 2 轮筛选对第 1 轮初筛文献进行全文阅读与评估。在 2 轮筛选中出现文献保留或剔除的分歧,则引入第 3 位成员对争议文献进行复核,通过讨论直至达成一致意见。该流程符合系统评价和 Meta 分析扩展规范——范围综述报告清单(preferred reporting items for systematic reviews and Meta-analyses extension for scoping reviews, PRISMA-ScR)审查规范^[17],通过 2 名研究者独立筛选有效降低了选择偏倚风险。

1.5 数据提取与分析:在 Excel 软件中制作文献信息提取表,包括作者、研究类型、研究对象基本社会人口学特征、例数、干预方案(形式数字健康技术载体、持续时长、干预内容要素)及结局指标等,并进行汇总分析。由 2 名研究者独立对纳入文献进行数据提取,遇到分歧时与第 3 名研究者讨论达成一致。

2 结果

2.1 文献筛选结果:初步检索到 823 篇文献,去除

重复文献 114 篇后剩余 709 篇。阅读文献标题和摘要进行初筛, 641 篇文献因研究主题、研究对象、研究情景、文献类型和语言不符被排除。阅读剩余 68 篇文献全文, 排除 59 篇不符合纳入标准的文献, 最终纳入 9 篇文献^[18-26]。

2.2 纳入文献基本特征(表 1): 在最终纳入的 9 篇文献中, 发表时间从 2007 至 2025 年, 涵盖美国^[18, 20]、法国^[19]、中国^[21]、埃及^[22]、加拿大^[23]、泰国^[24]、比利时^[25]、荷兰^[26]。研究类型包括 RCT、前瞻性研究、初步研究等。研究对象均为接受心脏外科手术的成年患者, 手术类型包括 CABG、心脏瓣膜置换/修复术及心脏移植, 例数为 10~271 例, 干预时长从术后 6 周至 12 个月不等。

2.3 数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的应用

2.3.1 数字健康技术的主要形式和内容: ① 智能穿戴设备: 智能穿戴设备能实时监测患者的日常活动和生理状态, 帮助患者和医护人员跟踪术后恢复进展。Hauguel-Moreau 等^[19]采用 Withings Go® 电子手环记录心脏外科术后患者每日步数, 并将数据传输至手机或平板上的 CardioReport® 应用程序, 从而监控患者术后活动水平及康复进展。此外, Fitbit Charge HR 腕带式活动追踪器^[25]不仅能跟踪步数, 还能记录能量消耗、心率变化等信息, 为患者提供个性化的康复支持。② VR 技术: VR 技术通过计算机和可穿戴设备构建三维虚拟环境, 提供个性化的康复体验。泰国一项研究采用了非沉浸式 VR 技术与光学心率传感器相结合, 帮助患者进行中等强度的运动训练。这种方式使患者能在家中安全、有效的康复训练, 同时提供个性化、灵活的康复方案^[24]。③ 远程健康监测: 远程健康监测系统可采集记录并传输患者血压、心率、脉搏、血氧饱和度、体质量指数等健康相关数据, 实现了对术后患者的持续健康监测。当监测数据超出预设安全范围时, 系统能自动触发警报, 并及时通知医护团队进行干预^[20, 23]。④ 远程医疗设备。Barnason 等^[18]采用电话线连接的 Health Buddy® 远程医疗设备对 CABG 后患者实施了包含疼痛、疲劳和焦虑等症状的管理, 以及睡眠卫生指导、焦虑缓解和运动进展监测等行为的干预措施。⑤ 移动应用程序/平台: 移动应用程序/平台是应用较为广泛的数字健康技术形式, 医疗机构能借助其高效开展健康教育、远程咨询等服务。研究显示, 通过微信推送术后康复相

关小视频, 可帮助患者学习药物管理、风险因素控制和身体活动等知识; 同时, 患者还可在微信群内与家人和病友交流分享疾病管理经验和康复进展, 从而增强了参与感和治疗依从性^[21]。在 IMPROVED 项目中, 电子健康计划整合了视频教育与视频咨询, 有效帮助患者减少非计划性的医疗资源使用^[26]。此外, 家庭过渡性心脏远程康复(home-based transitional cardiac telerehabilitation, Hb-T-CTR) 项目通过结合电话咨询、视频咨询和视频教育, 为患者提供了更加个性化的康复护理服务^[22]。

2.3.2 数字健康技术在心脏外科术后患者心脏康复应用中的结局指标及效果: ① 心理状态与生活质量: 4 项研究指出, 数字健康技术在心脏外科术后心脏康复中对提升生活质量和改善心理健康有积极影响。基于微信和移动应用程序的干预可显著降低焦虑发生率及焦虑、抑郁评分^[21], 且 12 项简明健康调查量表(12-item short-form health survey scale, SF-12 量表)和冠状动脉血运重建结局问卷-第二版(coronary revascularisation outcome questionnaire-version 2, CROQ-v2) 量表评分均显著高于对照组^[21-22]。然而, 部分研究显示, 基于远程医疗设备的干预组 SF-36 量表中生理功能和生理职能维度评分显著高于对照组, 但两组精神健康、社会功能和情感职能方面评分差异无统计学意义, 研究者认为这可能与基线水平较高、接近天花板效应有关^[18]。另一项研究也报告了干预组和对照组医院焦虑抑郁量表(hospital anxiety and depression scale, HADS) 焦虑评分比较差异无统计学意义^[26]。这些不同的研究结果可能与干预设计、患者群体、评估工具及基线心理状态等多种因素相关。② 生理指标: 基于 VR 技术的家庭运动干预显著提升了患者呼吸肌力, 组内比较中最大吸气压和最大呼气压均较干预前显著提高, 但组间比较差异无统计学意义; 肺功能指标亦呈现类似趋势^[24]。此外, 远程监测系统能有效识别血压与心率异常, 触发临床干预, 包括药物调整和急诊转介^[20]。这表明数字健康技术在实时生理监测与管理中有应用价值。③ 身体活动: 研究指出, 使用远程医疗设备的干预组每日能量消耗及中高强度身体活动时间均显著高于常规护理组^[18]。基于 VR 的家庭运动计划显著改善了患者的 6 min 步行距离, 且效果优于对照组^[24]。另有一项使用可穿戴手环的研究记录了患者日均步数从出院时的(1 454±145) 步显著增加至术后 60 d 的

表 1 数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中应用的范围综述纳入文献的基本特征

纳入文献	研究类型	研究对象			例数 (例)	干预方案			结局指标
		手术类型	年龄 [岁, $\bar{x} \pm s / M$ (范围)]	男性 (例)		形式	持续时间	内容要素	
Barnason 等 ^[18]	RCT	CABG	71.6 ± 5.1	46	55	远程医疗设备	6 周	症状管理: 指导患者评估和管理术后常见症状(疼痛、疲劳、焦虑); 行为策略: 提供睡眠卫生技巧、焦虑缓解方法、运动进展监测; 个性化反馈: 根据患者每日输入的症状数据提供定制化的自我护理建议。	身体活动(RT3® 加速度计): 干预组能量消耗、中高强度身体活动、生理功能和生理职能评分均较对照组明显提高($P < 0.05$); 两组心理健康评分比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。
Hauguel-Moreau M 等 ^[19]	前瞻性、单中心观察性研究	CABG、AVR、MVR	63.8 (58.7 ~ 71.4)	85	100	智能穿戴设备	60 d	数据记录: 自动记录每日步数, 并通过无线传输至手机/平板应用(CardioReport®); 随访支持: 若连续 5 d 无活动数据, 联系患者确认原因; 术后 30 d 和 60 d 电话随访, 收集并发症和满意度数据。	每日步数(电子手环): 术后 60 d 每日步数较出院时明显增加(步: 5 801 ± 580 比 1 454 ± 145, $P < 0.05$); 患者满意度: 61% 的患者认为手环影响了康复效果, 41% 的患者认为改变了生活方式, 77% 的患者愿意继续使用手环, 4% 的患者认为佩戴是负担; 预后: 病死率 0%, 术后 60 d 再住院率 6%。
Kleinpell 等 ^[20]	初步研究	CABG	74.0 (68.0 ~ 84.0)	5	10	远程健康监测	90 d	数据传输: 出院后, 患者每日 2 次通过电话线路将血压、心率、脉搏血氧饱和度、体质指数传输到安全的互联网服务器; 预设报警阈值: 数据超过设定范围时, 系统会通过传呼机发送报警, 根据报警进行远程管理干预; 随访: 出院后 1、3 d 及每周 1 次, 持续 4 周, 电话随访评估患者活动水平、需求、并发症及强化出院计划。	警报次数: 3 个月共发出 725 次警报, 每例患者平均 (67 ± 62) 次, 66.5% 的警报与血压相关, 18.5% 与心率相关, 12.5% 与体质指数相关, 2.5% 与 SpO ₂ 相关; 其他警报: 6 例患者需远程管理干预 (2 例患者的血压药物调整, 2 例患者的心率药物调整, 1 例患者因腿部伤口持续渗液去急诊就医, 1 例患者因心动过速前去急诊进行心电图检查); 患者反馈: 77% 的患者表示愿意继续。
Ma 等 ^[21]	RCT	CABG	干预组为 65.2 ± 7.3; 对照组为 65.1 ± 7.5	111	140	移动应用程序	12 个月	健康教育: 通过微信小视频传授有关术后药物管理、风险因素管理、戒烟、营养摄入、身体活动和二级预防等知识; 康复指导: 每周推送运动康复视频, 包括有氧运动、抗阻训练、柔韧性训练和平衡训练等, 护士演示动作细节, 强调正确的姿势和注意事项; 运动监督: 出院前制定个性化运动处方, 要求患者每周在微信群内汇报进度, 家属协助录制运动视频进行上传; 心理护理: 每 2 周 1 次护士主导的微信视频心理咨询, 评估情绪状态并提供支持。	医院焦虑抑郁量表: 干预组焦虑评分(分: 9 个月为 5.5 ± 2.4 比 6.5 ± 3.6, 12 个月为 5.3 ± 2.5 比 6.5 ± 3.8)、焦虑率(15.7% 比 31.4%)、抑郁评分(分: 12 个月为 5.2 ± 2.5 比 6.1 ± 3.1) 均较对照组明显降低(均 $P < 0.05$); 躯体健康评分(分: 9 个月为 48.3 ± 8.3 比 44.7 ± 9.4, 12 个月为 49.5 ± 8.4 比 45.5 ± 9.6)、心理健康评分(分: 9 个月为 53.9 ± 11.7 比 50.2 ± 9.5, 12 个月为 55.4 ± 11.5 比 51.9 ± 10.8) 均较对照组明显升高(均 $P < 0.05$); 36 个月 MACCE 发生率与对照组比较差异无统计学意义(12.9% 比 20.0%, $P > 0.05$), 失访率明显低于对照组($P < 0.05$)。
Mahfouz 等 ^[22]	RCT	CABG	干预组为 70.18 ± 5.08; 对照组为 70.38 ± 5.03	50	118	移动应用程序	12 周	术前咨询: 提供术前知识, 帮助患者术前准备; 术后教育: 提供文化适配的视频课程, 内容包括身体活动、健康管理、药物使用、心理支持等, 帮助患者术后管理, 减少术后并发症, 视频可下载至患者手机, 并提供阿拉伯语简明指南; 家庭访问和电话咨询: 每周进行家庭访问, 同时提供电话咨询支持。	CROQ 量表评分(分: 3 个月为 26.38 ± 8.51 比 21.64 ± 5.34, 6 个月为 33.88 ± 9.71 比 26.61 ± 8.32) 均较对照组明显升高(均 $P < 0.05$); 治疗性自我护理量表评分(分: 3 个月为 27.32 ± 4.96 比 21.25 ± 4.31, 6 个月为 30.82 ± 4.36 比 27.23 ± 4.82) 亦均较对照组明显升高(均 $P < 0.05$)。
Sarkar 等 ^[23]	前瞻性、非随机病例对照研究	CABG、AVR、MVR、CABG+ AVR/MVR	干预组为 68.00 ± 5.00; 对照组为 66.00 ± 7.00	57	63	移动应用程序与智能穿戴设备	30 d	生命体征监测: 使用血压和心率监测设备, 患者通过平板电脑 NetResponse 应用程序提交每日健康数据, 护理团队根据数据反馈进行干预; 警报系统: 基于分支逻辑的算法设计, 用于筛查患者, 识别出需要额外干预的患者并及时通知护理团队; 支持方式: 前 4 周每周 2 次同步视频指导, 后 8 周每周 1 次, 可随时请求临床或技术支持的异步咨询。	干预方案可行性: 完成率: 60% 的患者完成 30 d 监测; 技术障碍: 40% 因技术问题退出; 患者满意度: 100% 的患者认为设备易用, 95.2% 的患者对监测体验满意, 66.7% 的患者愿意再次使用设备。临床结局指标: 干预组 30 d 再住院率(0.0% 比 14.3%) 和感染率发生率(9.5% 比 21.4%) 均较对照组降低, 但两组比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

表 1 数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中应用的范围综述纳入文献的基本特征 (续)

纳入文献	研究类型	研究对象			例数 (例)	干预方案		结局指标	
		手术类型	年龄 (岁, $\bar{x} \pm s / M(\text{范围})$)	男性 (例)		形式	持续时间		内容要素
Sermisaihong 等 ^[24]	RCT	CABG、AVR/MVR、CABG+AVR/MVR	干预组为 62.75 ± 7.97; 对照组为 58.08 ± 13.97	35	49	VR 和智能穿戴设备	8 周	基础家庭的 VR 运动干预: 频率: 持续 8 周, 每周 2~3 次, 每次 30 min。运动强度: 中等强度 (40%~59% 心率储备)。内容组成: 呼吸训练 (3 min, 10 次/组, 3 组); 上肢运动/胸部躯干主动活动 (9 min): 肩屈曲 (前后胸壁活动)、肩外展、肩屈曲至对侧 (后外侧胸壁活动)、侧胸壁活动; 下肢运动: 每个循环 4.33 min, 共 7 个循环, 总计 30 min, 踏步、髋外展-内收、深蹲、髌膝屈曲、髌屈曲伴内收; 放松运动 (5 min); 踏步。实时调整策略: 若心率低于目标范围 (40%~59% 心率储备), 程序加速; 若高于目标范围, 程序减速。	功能能力 (6 min 步行距离): VR 组干预后较干预前明显升高 (m: 352.38 ± 80.71 比 273.64 ± 99.10, $P < 0.05$), 对照组干预前后比较差异无统计学意义 (m: 286.08 ± 98.83 比 270.25 ± 89.96, $P > 0.05$); VR 组干预后明显高于对照组 ($P < 0.05$)。呼吸肌力量: VR 组和对照组干预后最大吸气压力均较干预前明显升高 (cmH ₂ O: 69.29 ± 21.69 比 59.83 ± 21.39 和 67.72 ± 34.57 比 58.08 ± 26.94, 均 $P < 0.05$); 两组干预后比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。最大呼气压力: VR 组干预后较干预前明显升高 (cmH ₂ O: 73.29 ± 33.60 比 57.50 ± 25.08, $P < 0.05$); 对照组干预前后比较差异无统计学意义 (59.04 ± 24.79 比 63.12 ± 24.78, $P > 0.05$); 两组干预后比较差异亦无统计学意义 ($P > 0.05$)。肺功能: 两组干预后 FEV1 均较干预前明显升高 [(72.67 ± 22.08)% 比 (68.04 ± 18.43)% 和 (72.00 ± 19.47)% 比 (67.96 ± 22.08)%], 均 $P < 0.05$]; 两组干预前后 FVC 比较差异均无统计学意义 [(60.54 ± 16.41)% 比 (63.50 ± 15.10)% 和 (63.12 ± 17.39)% 比 (63.96 ± 16.13)%], 均 $P > 0.05$]; 两组干预后 FEV1 和 FVC 比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。
Thijs 等 ^[25]	前瞻性单中心观察性队列研究	RA-MIDCAB 组为 MIDCAB; OPCAB	68 (55~83); OPCAB 组为 69 (50~82)	19	22	智能穿戴设备	14 d	所有参与者在出院后接受为期 14 d 的 Fitbit Charge HR 佩戴跟踪。追踪内容包括: 每日步数、步行距离、爬楼梯次数、运动强度、持续时间、能量消耗、睡眠模式、心率变异性等。步数: 干预第 1 周 RA-MIDCAB 组步数较 OPCAB 组明显增加 [步, $M(\text{范围})$]: 3 715 (1 637~6 720) 比 3 355 (1 110~6 720), $P < 0.05$]; 干预第 2 周和第 5 周 RA-MIDCAB 组和 OPCAB 组比较差异均无统计学意义 [步, $M(\text{范围})$]: 4 357 (1 415~7 671) 比 2 383 (856~11 282), 6 012 (3 473~11 579) 比 5 719 (2 128~11 948), 均 $P > 0.05$ 。身体活动水平 (总能量消耗/基础代谢率): 干预第 1、2、5 周 RA-MIDCAB 组和 OPCAB 组身体活动水平比较差异均无统计学意义 [$M(\text{范围})$]: 1.39 (1.05~1.71) 比 1.29 (1.08~1.59), 1.41 (1.04~1.63) 比 1.32 (1.04~1.60) 和 1.52 (1.13~1.90) 比 1.44 (1.16~1.80), 均 $P > 0.05$ 。]	
van Steenberg 等 ^[26]	RCT	CABG	干预组为 67.9 (61.5~73.3); 对照组为 69.6 (65.2~74.1)	234	271	智能穿戴设备和移动应用程序	6 周	在线教育视频: 通过电子邮件发送链接, 患者可随时访问, 内容包含以下 3 部分治疗类 (10 个视频): 手术准备、手术过程等; 康复类 (6 个视频): 术后恢复指导、何时就医等; 健康生活类 (2 个视频): 心血管风险管理 (如戒烟、运动)。视频咨询: 术后 1 周和 3 周各进行 1 次, 通过 Microsoft Teams 完成。资源使用情况: 95% 的患者至少观看 1 次教育视频; 视频咨询完成率 91.2% (248/272), 8 次因技术问题替换为电话咨询, 8 例患者未按计划使用干预。主要结局: 计划外医疗利用率 (急诊就诊、再入院、门诊就医、电话咨询): 干预组明显高于对照组 [31.6% (43) 比 45.2% (61), $P < 0.05$]。干预组成本效益明显高于对照组 [欧元, $M(\text{范围})$]: 0 比 66, $P < 0.05$], 术后 3 周和 6 周自我报告恢复指数明显高于对照组 (均 $P < 0.05$)。两组焦虑评分比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。	

注: AVR 为主动脉瓣置换术, MVR 为二尖瓣置换术, RA-MIDCAB 为机器人辅助微创直接 CABG, OPCAB 为传统非体外循环 CABG, SpO₂ 为脉搏血氧饱和度, FEV₁ 为第 1 秒用力呼气容积, FVC 为用力肺活量; 1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa

($5\ 801 \pm 580$)步^[19],最佳拟合曲线预测最大步数为每日($5\ 897 \pm 119$)步,出院后 30 d 最高步数的 85% 水平。一项观察性研究还表明,智能设备可客观监测不同术式患者的康复进程,虽组间步数无显著差异,但两组身体活动水平均随时间显著提升^[25]。

④ 医疗资源利用与就医行为:在医疗资源利用方面,视频教育结合咨询的干预可显著降低非计划医疗资源使用率,并具备成本效益优势^[26]。其他研究也报告了再住院率和并发症发生率的下降趋势^[23],长期随访中主要不良心血管/脑血管事件(major adverse cardiac/cerebrovascular event, MACCE)发生率亦呈降低趋势^[21],但差异无统计学意义。

⑤ 可行性与患者接受度:数字健康技术在心脏外科术后患者心脏康复中展现出良好的可行性与可接受性。3 项研究针对不同数字健康技术形式的适用性进行了评估。使用智能可穿戴设备的患者中,77% 表示愿意继续使用该设备,61% 认为其对康复效果产生积极影响,41% 认为其促进了生活方式的积极改变,仅 4% 认为设备佩戴是一种负担^[19]。远程家庭监测系统同样获得较高认可,尽管存在每日 2 次数据传输的繁琐性及设备提示音引发部分患者紧张情绪等问题,77% 的患者仍愿意继续使用,且多数肯定其在术后恢复中的辅助作用^[20]。然而,也有研究报告了因技术障碍导致 40% 的患者退出率^[23],表明当前部分数字健康技术形式在稳定性和用户体验方面仍存在局限,需进一步优化。

3 讨论

本范围综述系统分析了数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的应用形式、干预内容及效果,结果显示,数字健康技术在改善患者身体功能、心理状态及优化医疗资源利用方面有明显的潜力,同时也面临技术、方法及推广层面的挑战。

3.1 数字健康技术在心脏康复模式优化中的潜力与优势:数字健康技术有多元化、个性化和远程化的特性,为突破传统心脏康复模式的困境提供了新思路^[27]。智能穿戴设备、远程健康监测系统、VR 技术及远程医疗设备等多种技术形式,打破了时间与空间限制,使患者在家中即可接受专业的生理指标监测、个性化指导与健康教育,减少了因距离、行动不便或医疗资源不均所导致的参与障碍^[28],构建了贯穿医院与家庭的连续心脏康复路径,实现了对患者的持续监测和个性化反馈,从而提升了心脏康复服务的可及性和连续性^[29]。此外,移

动应用程序/平台通过推送科普视频、建立病友在线社区等方式,不仅拓展了健康信息的获取渠道,也构建了有效的社会支持网络^[12, 30],通过同伴激励与医患互动,增强了患者心脏康复的依从性和自我管理的主动性^[21]。智能穿戴设备所提供的实时数据反馈,使患者能够直观感知康复进展^[31],从而获得持续的正向激励,更积极地参与心脏康复。同时,远程健康监测技术可持续采集多维度健康数据,也为医护人员提供了决策支持,有助于及时调整康复方案,降低再入院风险^[32]。由此可知,数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的应用标志着从传统心脏康复模式向以患者为中心、技术赋能、数据驱动的个性化心脏康复新模式的转变,在提升效率、扩展覆盖面和赋能患者方面展现出巨大潜力。

3.2 数字健康技术在临床推广中面临的挑战与启示:尽管数字健康技术在心脏外科手术患者心脏康复中的应用有显著优势,但临床推广和整合过程仍面临多重挑战。首先,部分数字健康技术在稳定性、准确性和易用性方面仍存在不足。研究显示,因设备操作复杂、警报频繁引发焦虑及技术故障等问题,导致患者退出率较高^[20, 23]。鉴于心脏康复的受众人群主要为老年患者,依托数字健康技术开展的“数字鸿沟”问题^[33]。其次,数字健康技术应用于传统医疗系统整合度较低,未能完全嵌入临床路径,增加了医护人员的工作负担,从而导致临床采纳率较低^[34]。以上提示研究者当前数字健康技术在用户体验、系统稳定性及与临床流程整合方面仍有优化空间。此外,数字健康技术应用涉及大量患者健康信息的采集、传输与储存,这些数据的安全性和隐私保护是患者和医护人员共同关切的核心问题^[35]。目前,相关法律法规和行业标准仍不健全,数据所有权、使用权限与共享边界模糊,存在数据泄露和滥用的潜在风险。缺乏统一的标准也导致不同系统、平台与医疗机构电子健康记录之间难以实现互联互通,阻碍了数据的整合分析与临床价值的深度挖掘^[36]。卫生经济学证据缺失是制约该领域推广的重要障碍。本研究纳入的 9 项研究中,仅 van Steenberg 等^[26]报告了成本效益优势,多数研究未涉及增量成本效果比或质量调整寿命年等“金标准”指标。未来需开展基于大样本、长随访的卫生经济学评价,为数字健康技术纳入医保或临床路径提供数据支撑。本范围综述所纳入研究存在样本量

较小、随访时间较短的局限性,数字健康技术对心脏外科术后患者长期预后的影响、效果的可持续性,及是否有成本效益,仍需更大样本量、多中心的长期RCT提供高级别证据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990–2019: update from the GBD 2019 study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 76 (25): 2982–3021. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.11.010.
- [2] 国家心血管病中心. 集体作者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. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2025.06.001.
- [3] 中国生物医学工程学会体外循环分会. 2024 年中国心血管外科手术和体外循环数据白皮书 [J]. *中国体外循环杂志*, 2025, 23 (4): 287–290. DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2025.04.01.
- [4] Richardson CR, Franklin B, Moy ML, et al. Advances in rehabilitation for chronic diseases: improving health outcomes and function [J]. *BMJ*, 2019, 365: 12191. DOI: 10.1136/bmj.12191.
- [5] Brown TM, Pack QR, Aberlegg E, et al. Core components of cardiac rehabilitation programs: 2024 update: a scientific statement from the American Heart Association and the American Association of cardiovascular and pulmonary rehabilitation [J]. *Circulation*, 2024, 150 (18): e328–e347. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001289.
- [6] Ambrosetti M, Abreu A, Corrà U, et al. Secondary prevention through comprehensive cardiovascular rehabilitation: from knowledge to implementation. 2020 update. A position paper from the secondary prevention and rehabilitation section of the European Association of Preventive Cardiology [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2021, 28 (5): 460–495. DOI: 10.1177/2047487320913379.
- [7] Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC [J]. *Eur Heart J*, 2016, 37 (27): 2129–2200. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw128.
- [8] Writing Committee Members. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on practice guidelines [J]. *Circulation*, 2013, 128 (16): e240–e327. DOI: 10.1161/CIR.0b013e31829e8776.
- [9] Sugiharto F, Nuraeni A, Trisyani Y, et al. Barriers to participation in cardiac rehabilitation among patients with coronary heart disease after reperfusion therapy: a scoping review [J]. *Vasc Health Risk Manag*, 2023, 19: 557–570. DOI: 10.2147/VHRM.S425505.
- [10] Liu LY, Shi LZ. Chinese patients' intention to use different types of internet hospitals: cross-sectional study on virtual visits [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23 (8): e25978. DOI: 10.2196/25978.
- [11] 国家心血管病中心. 中国心血管健康与疾病报告 (2021) 节选二: 心血管病康复 [J]. *心脑血管病防治*, 2022, 22 (5): 8–14. DOI: 10.3969/j.issn.1009-816x.2022.05.003.
- [12] Chong MS, Sit JWH, Choi KC, et al. Barriers to cardiac rehabilitation and patient perceptions on the usage of technologies in cardiac rehabilitation: a cross-sectional study [J]. *J Clin Nurs*, 2024, 33 (3): 1084–1093. DOI: 10.1111/jocn.16919.
- [13] Masterson Creber R, Dodson JA, Bidwell J, et al. Telehealth and health equity in older adults with heart failure: a scientific statement from the American Heart Association [J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2023, 16 (11): e000123. DOI: 10.1161/HCQ.000000000000123.
- [14] Cotie LM, Vanzella LM, Pakosh M, et al. A systematic review of clinical practice guidelines and consensus statements for cardiac rehabilitation delivery: consensus, divergence, and important knowledge gaps [J]. *Can J Cardiol*, 2024, 40 (3): 330–346. DOI: 10.1016/j.cjca.2023.10.016.
- [15] Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework [J]. *Int J Soc Res Methodology*, 2005, 8 (1): 19–32.
- [16] Lockwood C, Dos Santos KB, Pap R. Practical guidance for knowledge synthesis: scoping review methods [J]. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*, 2019, 13 (5): 287–294. DOI: 10.1016/j.anr.2019.11.002.
- [17] Tricco AC, Lillie E, Zarin W, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation [J]. *Ann Intern Med*, 2018, 169 (7): 467–473. DOI: 10.7326/M18-0850.
- [18] Barnason S, Zimmerman L, Schulz P, et al. Influence of an early recovery telehealth intervention on physical activity and functioning after coronary artery bypass surgery among older adults with high disease burden [J]. *Heart Lung*, 2009, 38 (6): 459–468. DOI: 10.1016/j.hrtlng.2009.01.010.
- [19] Hauguel-Moreau M, Naudin C, N'Guyen L, et al. Smart bracelet to assess physical activity after cardiac surgery: a prospective study [J]. *PLoS One*, 2020, 15 (12): e0241368. DOI: 10.1371/journal.pone.0241368.
- [20] Kleinpell RM, Avital B. Integrating telehealth as a strategy for patient management after discharge for cardiac surgery: results of a pilot study [J]. *J Cardiovasc Nurs*, 2007, 22 (1): 38–42.
- [21] Ma CY, Wang B, Zhao XM, et al. WeChat-based education and rehabilitation program in unprotected left main coronary artery disease patients after coronary artery bypass grafting: an effective approach in reducing anxiety, depression, loss to follow-up, and improving quality of life [J]. *Braz J Med Biol Res*, 2021, 54 (4): e10370. DOI: 10.1590/1414-431X202010370.
- [22] Mahfouz Khalil MI, El-Monshed AH, Shaala RS, et al. Home-based transitional cardiac telerehabilitation in older adults post coronary artery bypass grafting: a randomized controlled trial [J]. *Geriatr Nurs*, 2024, 59: 139–149. DOI: 10.1016/j.gerinurse.2024.06.004.
- [23] Sarkar S, MacLeod J, Hassan A, et al. Enhanced telehealth home-monitoring intervention for vulnerable and frail patients after cardiac surgery (THE-FACS pilot intervention study) [J]. *BMC Geriatr*, 2022, 22 (1): 836. DOI: 10.1186/s12877-022-03531-4.
- [24] Sermisinsathong N, Yuenyongchaiwat K, Thanawattano C, et al. Effects of a home-based rehabilitation exercise program on cardiorespiratory performance in community-dwelling adults who underwent heart surgery: randomized controlled trial [J]. *JMIR Rehabil Assist Technol*, 2025, 12: e68504. DOI: 10.2196/68504.
- [25] Thijs I, Fresiello L, Oosterlinck W, et al. Assessment of physical activity by wearable technology during rehabilitation after cardiac surgery: explorative prospective monocentric observational cohort study [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7 (1): e9865. DOI: 10.2196/mhealth.9865.
- [26] van Steenberghe G, van Veghel D, van Lieshout D, et al. Effects of video-based patient education and consultation on unplanned health care utilization and early recovery after coronary artery bypass surgery (IMPROV-ED): randomized controlled trial [J]. *J Med Internet Res*, 2022, 24 (8): e37728. DOI: 10.2196/37728.
- [27] Hamilton DE, Xie JX, Chang AL, et al. Digital technologies and artificial intelligence in cardiac rehabilitation: a narrative review [J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2025, 45 (3): 169–180. DOI: 10.1097/HCR.0000000000000935.
- [28] Alvarez P, Sianis A, Brown J, et al. Chronic disease management in heart failure: focus on telemedicine and remote monitoring [J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2021, 22 (2): 403–413. DOI: 10.31083/j.rcm.2202046.
- [29] 庄洪波, 刘刚, 许丹焰. 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 [J]. *广西医学*, 2024, 46 (6): 808–814. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2024.06.05.
- [30] Lee HE, Cho J. What motivates users to continue using diet and fitness apps? Application of the uses and gratifications approach [J]. *Health Commun*, 2017, 32 (12): 1445–1453. DOI: 10.1080/10410236.2016.1167998.
- [31] 许晓晓. 智能穿戴设备在体育活动中的应用与效果研究 [J]. *文体用品与科技*, 2024 (19): 166–168. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8902.2024.19.056.
- [32] Qi KX, Koike T, Yasuda Y, et al. The effects on rehospitalization rate of transitional care using information communication technology in patients with heart failure: a scoping review [J]. *Int J Nurs Stud Adv*, 2023, 5: 100151. DOI: 10.1016/j.ijnsa.2023.100151.
- [33] Zhao BS, Zhang XM, Huang RD, et al. Barriers to accessing internet-based home care for older patients: a qualitative study [J]. *BMC Geriatr*, 2021, 21 (1): 565. DOI: 10.1186/s12877-021-02474-6.
- [34] Whitelaw S, Pellegrini DM, Mamas MA, et al. Barriers and facilitators of the uptake of digital health technology in cardiovascular care: a systematic scoping review [J]. *Eur Heart J Digit Health*, 2021, 2 (1): 62–74. DOI: 10.1093/ehjdh/ztab005.
- [35] Basil NN, Ambe S, Ekhaton C, et al. Health records database and inherent security concerns: a review of the literature [J]. *Cureus*, 2022, 14 (10): e30168. DOI: 10.7759/cureus.30168.
- [36] de Mello BH, Rigo SJ, da Costa CA, et al. Semantic interoperability in health records standards: a systematic literature review [J]. *Health Technol (Berl)*, 2022, 12 (2): 255–272. DOI: 10.1007/s12553-022-00639-w.

(收稿日期: 2025-09-18)

(责任编辑: 邸美仙)