doi:10.11659/jjssx.12E025129

·综 述·

侵入与非侵入式设备在心衰监测中的应用现状与展望

刘 静,罗小林,黄吉凤,钟 菁 (陆军军医大学第二附属医院心血管内科,重庆 400037)

[摘 要] 心力衰竭是各类心血管疾病进展至终末期的严重临床综合征,具有病程迁延、病因复杂的特点,开展规范的临床筛查、精准诊断与预后评估对诊疗至关重要。疾病早期,神经体液代偿机制可掩盖血流动力学异常,仅依靠临床症状开展传统监测存在明显滞后性。近年来,心力衰竭监测设备得到快速发展,从根本上改变了心力衰竭的管理策略。监测设备主要分成侵入式和非侵入式两大类,借助这些监测设备,可降低心力衰竭患者的住院率,还可提供有预测价值的客观指标。本文系统综述心力衰竭患者监测设备的技术原理、临床循证医学证据及当前面临的挑战,以期为临床合理选用心力衰竭监测器械提供全面、系统的参考依据。

[关键词] 心衰;侵入式监测;非侵入式监测;远程管理

[中图分类号] R541.62 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-12-26

Current status and future prospects of invasive and non-invasive devices in heart failure monitoring

LIU Jing, LUO Xiao-lin, HUANG Ji-feng, ZHONG Jing (Department of Cardiovascular Medicine, the Second Affiliated Hospital of Army Medical University, Chongqing 400037, China)

Abstract: Heart failure is a severe clinical syndrome that represents the end-stage progression of various cardiovascular diseases, characterized by prolonged disease courses and complex etiologies. Standardized clinical screening, accurate diagnosis, and prognostic assessment are essential for its optimal clinical management. In the early stage of the disease, neurohumoral compensatory mechanisms may mask hemodynamic abnormalities, and traditional monitoring based solely on clinical symptoms is notably lagging. In recent years, heart failure monitoring devices have undergone rapid development, fundamentally changing the management strategies for heart failure. Monitoring devices are mainly divided into invasive and non-invasive categories. With the aid of these monitoring devices, it is possible to reduce the hospitalization rate of heart failure patients and provide objective indicators with predictive value. This article systematically reviews the technical principles, clinical evidence, and current challenges of monitoring devices for patients with heart failure, aiming to provide comprehensive and systematic reference for the rational clinical selection of heart failure monitoring instruments.

Keywords: heart failure; invasive monitoring; non-invasive monitoring; remote management

心力衰竭(简称心衰)是一种由多种病因所致的心脏结构与功能障碍的临床综合征,最终造成心室收缩和舒张功能障碍,是心血管疾病患者住院和死亡的常见原因[1]。研究显示,我国约有890万心衰患者[2]。尽管近年来心衰的诊断和治疗取得了进展,但我国心衰管理的标准化程度仍存在不足。许多心衰患者出院后未能得到有效的管理和健康教育,导致因心衰恶化而再次入院或死亡的风险增加[3]。因此,对心衰患者进行持续、客观的生理学监测已成为现代心衰诊疗的核心需求[4]。目前国内外心衰监测设备主要分为侵入式和非侵入式两大类,侵入式包括肺动脉压力监测、左心房压力监测、心脏起搏器监测等,非侵入式包括基于生物阻抗的无创肺水定量监测、人工智能算法估算心内压的设备等[5-7]。本文就目前用于心衰患者监测的设备和方法进行综述,以期为优化心衰全程管理策略提供参考。

[基金项目] 重庆市卫生健康委中医药科研项目(2024WSJK129)

[通信作者] 钟 菁,E-mail:31881657@qq.com

1 侵入式设备

1.1 肺动脉压力监测系统

植入式肺动脉传感器(Cardio micro electro mechanical systems,CardioMEMS)自2014年获得批准以来,已成为全球心衰器械管理领域的黄金标准。CardioMEMS传感器是在右心导管检查期间将其植入到远端肺动脉分支,持续输出肺动脉压数据,其原理是肺动脉血压产生变化时,血流压力导致植入物的硅膜出现纳米级别的形变,从而改变传感器内部的电感-电容谐振电路的频率,患者需每日进行肺动脉压测量[8-10]。与其他设备相比,CardioMEMS优势在于体积小,且无需电池或导线。CHAMPION临床试验(NCT01606098,n=550)通过前瞻性、随机、单盲纳入了纽约心脏协会心功能分级(New York Heart Associa-

tion,NYHA)Ⅲ级心衰患者发现,肺动脉压力监测指导的心衰治疗显著降低了心衰相关住院率,降至每月5.17%,并改善了患者的生活质量,肺动脉压数据的整合也显著提高了药物依从性[11]。临床研究(NCT02279888,n=550)对CHAMPION研究进行了补充,治疗组在对照组植入CardioMEMS的基础上进行每日肺动脉压力监测和管理,结果显示:与对照组相比,治疗组心衰相关住院率显著降低了28%[12]。然而,CardioMEMS传感器目前仍面临一些挑战,存在出血、感染、器械移位或血栓等手术相关并发症风险[13-15]。此外,美敦力公司的侵入式设备Chronicle传感器也可通过肺动脉压来监测心衰[16],其核心原理是通过监测右心室压力间接推算反映左心功能的肺动脉舒张压[17]。2006年的一项研究证明,基于Chronicle系统监测肺动脉压力的数据进行心衰的指导治疗,可将心衰事件风险降低21%,但未发现统计学差异,因此未进行大规模商业推广而退出市场[18]。

1.2 左心房压力监测

当左心室功能不全或僵硬度增加时,左心房压力升高直接导致肺静脉淤血和肺水肿,因此监测左心房压力可以预测心衰的发生[19-20]。V-LAP左心房压力传感器系统采用无线、无电池、微创的传感器,植入房间隔进行每日测量[21-25]。VECTOR-HF Ⅰ期临床试验研究(NCT03775161,n=38)将V-LAP左心房压力监测应用于射血分数保留或轻度降低的心衰患者,结果显示其安全性良好,6个月内未发生与设备相关的严重不良事件,通过远程监测左心房压指导治疗,患者左心房压显著降低,伴随NYHA心功能分级改善、生活质量和6 min步行距离提高[26]。早期设计的左心房监测系统还有HeartPOD,其核心是通过植入左心耳的传感器,可直接、实时监测左心房压力,临床试验虽证明HeartPOD指导心衰治疗能降低心衰住院率,但与手术或器械相关的严重不良事件发生率高达21%,已经被提前终止[27]。

1.3 心脏植入式电子设备衍生监测

心脏植入式电子设备衍生监测是利用患者体内既有的心脏植入式电子设备,如起搏器、植入式心律转复除颤器或心脏再同步治疗设备,通过其集成的传感器间接监测心衰状态。植入式心脏监测器是一类成熟的心血管设备,主要用于监测和管理房颤[28-29]。近年来植入式心脏监测器增加了一些新的传感功能,如胸阻抗应用于心衰的监测。心衰引起的肺淤血会导致胸阻抗值下降[30]。心衰与房颤常互为因果,房颤时会诱发急性心衰,心衰激活的神经内分泌系统会促进胶原蛋白沉积,进而破坏心肌细胞的电耦联,造成传导缓慢和异质性,形成房颤[31-32],因此房颤是心衰监测的参数之一;其次还需监测患者活动量,夜间心率及心率变异量等和心衰相关的指标。HeartLogic是目前公认最先进的智能化多参数监测算法,监测参数包括第三心音、胸阻抗、呼吸频率/潮气量、心率、活动量,该指数在0~100之间,数值越高,表示心衰失代偿的风险越大[33-35]。MANAGE-HF临床试验初步结果显示侵入式植入血流动力学监测首次应用于心衰患者,心血管死亡的风险降低了28%,全因住院的风险降低了25%,且未增加不良事件[36];COMMIT-HF试验表明,对心衰患者进行侵入式植入血流动力学远程监测可显著降低长期病死率,但不能降低心衰相关的住院率[37]。心脏植入式电子设备衍生监测的临床试验结果不一致的原因可能是由于不同算法使用参数存在差异;其次设备与心血管系统的距离较远,各项指标的准确性会下降,通常需要使用综合风险指数;生理特异性不足也是目前临床研究结果不一致的原因之一,监测心率、阻抗、活动量等关联参数,而非直接的血流动力学压力,如肺动脉压等,导致假阳性率高。

1.4 目前我国侵入式心衰监测设备的应用

侵入式心衰监测设备如CardioMEMS系统等在我国尚未进入临床应用,目前国内多数医院缺乏成熟的心衰专病管理团队和远程患者管理工作流程来支撑该技术的效能最大化,且该设备昂贵,绝大多数患者难以承受,所以此类产品在我国还处于早期探索阶段。植入式心电监测装置可持续长时程捕捉心率、心律变化,及时识别房颤等诱发心衰恶化的心律失常事件,其核心临床指征为不明原因晕厥鉴别与隐匿房颤筛查,现阶段在心衰患者群体中尚未得到广泛应用,主要用于诊断不明原因的晕厥或房颤筛查,在特定心衰患者群体中应用尚未普及。

2 非侵入式监测设备

非侵入式设备已然成为心衰患者无创远程监测的基础,这类设备直接贴附在皮肤上,可采集如心率、呼吸频率以及胸阻抗等关键生理信号,以较低的风险了解患者的心血管状况[38]。当前国际上应用较多的设备主要有三类,借助监测肺水含量评估肺淤血的ZOLL心衰管理系统,无创估测心内压评估心脏负荷的Acorai心脏监护仪,以及监测心脏机械功能的CardioTag系统,如心冲击描记图和VitalPatch系统[39]。

2.1 ZOLL心衰管理系统

ZOLL心衰管理系统利用嵌入集成传感器的黏性

贴片传输射频信号来评估肺部液体水平[40]。MaTcH(NCT03072732,n=20)临床试验结果显示,ZOLL心衰管理系统与心衰患者的全身液体清除量具有良好的相关性(r=0.95),但未能显著降低全因死亡或心衰住院的复合风险[41]。近期一项临床试验验证了ZOLL心衰管理系统的疗效,结果显示干预组患者的心衰住院相对风险降低了38%[42]。ZOLL心衰管理系统应用的局限性包括需要定期更换贴片,且患者可能会出现皮肤刺激,此外,耗材的持续成本也是限制其广泛应用的障碍之一[43]。ZOLL心衰管理系统是一个短期、过渡性的解决方案。一旦患者条件符合,仍建议植入永久性植入式心律转复除颤器。对于需要长期血流动力学监测的心衰患者,并不是首选方案。

2.2 Acorai心脏监护仪

Acorai心脏监护仪会同时记录心音图、单导联心电图和光电容积脉搏波这三种随时间变化的信号,提取出与心脏收缩、舒张、血管张力等相关的数千个特征,通过训练的机器学习模型将这些特征转化为对舒张期肺动脉压、平均肺动脉压和心输出量的估测值[44]。有研究证实了Acorai心脏监护仪技术采集的心音、光体积描记和心电图信号质量良好,该设备多参数联合特征与有创检测所得肺动脉压力、心输出量之间存在显著统计学相关性[45]。临床研究(NCT05887817,n=161)发现Acorai心脏监护仪采集的平均舒张期肺动脉压绝对误差为4.5 mmHg (95%*CI*:3.7~5.2),满足精度判定终点(预设标准为<7.5 mmHg),且在不同年龄、体质量指数、心率及射血分数保留型心衰患者中,准确性保持稳定[46]。表明Acorai心脏监护仪能够以临床可接受的精度,无创估测关键的肺动脉压力参数。

2.3 VitalPatch系统

VitalPatch是一种黏性贴片,运用生物传感器技术来实现连续生命体征监测,该系统拥有实时警报功能,在检测到异常模式时可通知临床医生[47-48]。临床研究(NCT03037710,n=100)对VitalPatch系统及其算法在心衰管理方面的有效性展开了测试,将患者出院后的基线测量数值与后续3个月所收集到的数据进行对比,结果显示,患者90 d住院率为24%,该设备可在心衰失代偿加重发生前6.5 d预警再入院相关先兆征象,其敏感度为76%~88%,特异度为85%[49]。

虽然非侵入式设备给患者带来的创伤较小,且舒适和便捷,患者对其接受程度较高,但是信号准确性、皮肤过敏状况以及放置不当等问题依旧是当前面临的挑战。部分学者认为可以运用柔性电子、生物黏附材料等来制作传感器,其可与皮肤共形贴合,从源头上降低信号干扰以及不适感[50]。不同患者在年龄、体质以及心率方面,其正常值范围存在着较大差异,而且同一患者的状态并非固定不变,会呈现动态变化的情况,鉴于此,有必要开展对自适应校准算法的研究工作,依靠该算法,使设备可学习并适应个体基线,监测其相对变化情况,将压力、容量、心音以及生物阻抗等多维度信息进行有机整合,最终转化为清晰明确的临床决策建议,以此为医生提供分层预警及个性化治疗提示[51]。

2.4 目前我国非侵入式心衰监测设备的应用

心衰监测的临床需求正在向无创监测技术和治疗设备集成监测功能转化,尤其是无创肺水监测技术,作为当前国内心衰管理的一个新热点,有望为心衰患者提供一种可行的替代监测方案[52]。其采用非侵入式的微波雷达技术,无需脱衣,约45 s即可通过体表传感器测量肺部组织内的水分含量(即肺水值),从而客观量化评估心衰患者的容量负荷状态,其监测结果与CT测量值高度吻合,并与肺动脉楔压具有良好相关性,可用于急性心衰快速鉴别诊断、严重程度及治疗反应评估,心衰的长期随访,预警早期液体潴留,预防急性失代偿,以及高危人群管理(如血液透析患者、心脏术后患者的容量管理)。龙愉良等[53]报道了首例使用ReDS无创肺水测量技术评估经导管三尖瓣瓣中瓣植入围术期肺水情况的诊疗经过,结果发现相比术前基线肺水情况,患者术后肺水出现了短期的显著上升,说明ReDS技术能够为经导管三尖瓣瓣中瓣植入术提供实时、客观、量化的肺水容量数据。无创肺水测量仪临床应用仍需更多临床试验证据。与传统检测手段对比,新型无创肺水测量技术可在肺水尚未表现为临床症状前,通过阻抗变化早期监测预警,同时也可用于动态观察治疗后肺水下降以评估疗效,在心衰患者管理中具有重要应用价值。

3 总结

心衰监测是现代规范化心衰治疗的基础所在,不管是植入式设备、无创设备还是可穿戴设备,都可在院外持续收集生理和临床方面的数据,实现对病情恶化的早期发觉、治疗方案的优化以及个性化的随访。评估用于心衰的远程监测设备,不仅需要有良好稳定的技术特性,还需要拥有精准有效的临床疗效,心衰监测设备应当从以下方面进行综合优化与评估:首先是设备成本以及与监测相关的成本,以及持续护理和长期管理的预计成本;其次要评估测量的准确性,获取有临床意义的数据,制定心衰监测的金标准,以及

考量监测参数和变量对指导治疗的关键性,临床应当强化随访来应对监测的阳性发现,降低心衰患者的住院率以及相关心血管不良事件的发生率;最后还需要提高患者的依从性、自我管理能力以及积极性。虽说我国无创肺水监测等技术已经形成了明确的临床适应证和操作规范,但是仍然处于临床前研究或早期可行性临床试验阶段,还需要在更大规模的人群中得到严格验证。

[参考文献]

[1] 傅一洋,郑旭辉,李新立,等. 心力衰竭合并症管理中生物标志物的临床应用及进展[J]. 中华医学杂志,2025,105(1):89-94. doi:10.3760/cma.j.cn112137-20241118-02577.

[2] 田 庄,芦 阳. 心力衰竭治疗进展[J]. 临床心血管病杂志,2024,40(4):268-271. doi:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.04.003.

[3] 射血分数保留的心力衰竭诊断与治疗中国专家共识制定工作组,周京敏,杨杰孚,等. 射血分数保留的心力衰竭诊断与治疗中国专家共识2023[J]. 中国循环杂志,2023,38(4):375-393. doi:10.3969/j.issn.1000-3614.2023.04.001.

[4] 谢翠娥,毛 越,李 荣. 数智技术在慢性心力衰竭患者居家容量管理中的应用现状与挑战[J]. 中华心血管病杂志,2025,53(8):962-966. doi:10.3760/cma.j.cn112148-20241112-00692.

[5] Wattanachayakul P, Kittipibul V, Salah HM, et al. Non-invasive heart failure monitoring: leveraging smart scales and digital biomarkers to improve heart failure outcomes[J]. Heart Failure Reviews, 2024, 29(5):1145-1156. doi:10.1007/s10741-024-10426-6.

[6] Gupta K, Mastoris I, Sauer AJ. Remote monitoring devices and heart failure[J]. Heart Failure Clinics, 2024, 20(1):1-13. doi:10.1016/j.hfc.2023.05.002.

[7] Zile MR, Kahwash R, Sarkar S, et al. A novel heart failure diagnostic risk score using a minimally invasive subcutaneous insertable cardiac monitor[J]. Heart Failure, 2024, 12(1):182-196. doi/10.1016/j.jchf.2023.09.014.

[8] Radhoe SP, Clephas PRD, Mokri H, et al. The CardioMEMS Heart Failure System for chronic heart failure - a European perspective[J]. Expert Rev Med Devices, 2023, 20(5):349-356. doi:10.1080/17434440.2023.2196400.

[9] Tolu-Akinnawo O, Akhtar N, Zalavadia N, et al. CardioMEMS Heart Failure System: an up-to-date review[J]. Cureus, 2025, 17(1):e77816. doi:10.7759/cureus.77816.

[10] Mangi MA, Nesheiwat Z, Kahloon R, et al. CardioMEMS(TM) System in the daily management of heart failure: review of current data and technique of implantation[J]. Expert Rev Med Devices, 2020, 17(7):637-648. doi:10.1080/17434440.2020.1779588.

[11] Radhoe SP, Brugts JJ. CardioMEMS™: a tool for remote hemodynamic monitoring of chronic heart failure patients[J]. Future Cardiol, 2022, 18(3):173-183. doi:10.2217/fca-2021-0076.

[12] Shavelle DM, Desai AS, Abraham WT, et al. Lower rates of heart failure and all-cause hospitalizations during pulmonary artery pressure-guided therapy for ambulatory heart failure: one-year outcomes from the CardioMEMS post-approval study[J]. Circ Heart Fail, 2020, 13(8):e006863. doi:10.1016/j.jscai.2025.104053.

[13] Labrandero C, Deiros L, Abelleira C, et al. Hemodynamic monitoring of pediatric patients with heart failure and pulmonary hypertension using CardioMEMS[J]. J Soc Cardiovasc Angiogr Intervent, 2024, 3(6):101933. doi:10.1016/j.jscai.2024.101933.

[14] Boulé S, Marquié C, Vanesson-Bricout C, et al. Clopidogrel increases bleeding complications in patients undergoing heart rhythm device procedures[J]. Pacing Clin Electrophysiol, 2012, 35(5):605-611.

[15] Visco V, Esposito C, Rispoli A, et al. The favourable alliance between CardioMEMS and levosimendan in patients with advanced heart failure[J]. ESC Heart Fail, 2024, 11(5):2835-2848. doi:10.1002/ehf2.14838.

[16] Duca ŞT, Tudorancea I, Miftode RŞ, et al. Heartbeat chronicles: decoding the interplay of echocardiography and heart rate variability in chronic heart failure patients-unraveling the mysteries with traditional and advanced 24-hour holter ECG parameters[J]. Roman J Cardiol, 2024, 34(2):68-82. doi:10.2478/rjc-2024-0009.

[17] Vranckx P, Morrow D, van Diepen S, et al. Editor's chronicles: redefining pathways in acute cardiac care[J]. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care, 2024, 13(7):523-524. doi:10.1093/ehjacc/zuae076.

[18] Bourge RC. Case studies in advanced monitoring with the chronicle® device[J]. Rev Cardiovasc Med, 2006, 7(S1):56-61.

[19] 赵云贺,王令谆,陈晓虎,等. 心衰Ⅰ号治疗射血分数保留型心力衰竭急性发作期阳虚水泛证疗效及对sST2,NT-proBNP,IL-8,TNF-α的影响[J]. 现代中西医结合杂志,2025,34(3):312-317. doi:10.3969/j.issn.1008-8849.2024.12

[20] 王 雅,邹花一阳,孙 伟. 心房分流术治疗心力衰竭的研究进展[J]. 中华心脏与心律电子杂志,2024,12(1):45-50. doi:10.3877/cma.j.issn.2095-6568.2024.01.010.

[21] Perl L, Meerkin D, D'amario D, et al. The V-LAP system for remote left atrial pressure monitoring of patients with heart failure: remote left atrial pressure monitoring[J]. J Cardiac Fail, 2022, 28(6):963-972. doi:10.1016/j.cardfail.2021.12.019.

[22] Perl L, Ben Avraham B, Vaknin-Assa H, et al. A rise in left atrial pressure detected by the V-LAP™ system for patients with heart failure during the coronavirus disease 2019 pandemic[J]. ESC Heart Fail, 2020, 7(6):4361-4366. doi:10.1002/ehf2.13033.

[23] D'Amario D, Restivo A, Canonico F, et al. Experience of remote cardiac care during the COVID-19 pandemic: the V-LAP™ device in advanced heart failure[J]. Eur J Heart Fail, 2020, 22(6):1050. doi:10.1002/ejhf.1900

[24] Brugts JJ. Remote haemodynamic monitoring and the next step: involving the patient in the self-management of heart failure[J]. Eur J Heart Fail, 2024, 26(8):1824-1826. doi:10.1002/ejhf.3355.

[25] Restivo A, D'Amario D, Paglianiti DA, et al. A 3-year single center experience with left atrial pressure remote monitoring: the long and winding road[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9:899656. doi:10.3389/fcvm.2022.899656.

[26] Bayes-Genis A, Pagnesi M, Codina P, et al. Remote pulmonary artery pressure-guided management of patients with heart failure: a clinical consensus statement of the Heart Failure Association (HFA) of the

ESC[J]. Eur J Heart Fail, 2025, 27(9): 1644-1657. doi: 10.1002/ejhf.3619.

[27] Ikebe S, Ishii M, Otsuka Y, et al. Impact of heart failure severity and major bleeding events after percutaneous coronary intervention on subsequent major adverse cardiac events [J]. Int J Cardiol Cardiovasc Risk Prev, 2023, 18: 200193. doi: 10.1016/j.ijcrp.2023.200193.

[28] 余根苗,郑炜平,黄雄梅,等. 心脏植入式电子装置感染的诊治进展[J]. 实用心电学杂志, 2024, 33(5): 534-539. doi: 10.13308/j.issn.2095-9354.2024.05.023.

[29] 王耀梓,袁　丽,张　真,等. 以应激系统理论为导向的运动康复管理在行心脏起搏器植入术老年患者中的应用[J]. 中西医结合护理(中英文), 2024, 10(9): 64. doi: 10.11997/nitcwm.202409017.

[30] Sammut-Powell C, Taylor JK, Motwani M, et al. Remotely monitored cardiac implantable electronic device data predict all-cause and cardiovascular unplanned hospitalization [J]. J Am Heart Assoc, 2022, 11(16): e024526. doi: 10.1161/JAHA.121.024526.

[31] 李　伏,马丽娜,翟　媛,等. 宁夏心房颤动射频消融术后持续性房扑合并心力衰竭发生的影响因素[J]. 宁夏医科大学学报, 2023, 45(11): 1132-1138. doi: 10.16050/j.cnki.issn1674-6309.2023.11.005.

[32] 苑　聪,谢　楠. 导管消融在心房颤动合并心力衰竭患者中的研究进展[J]. 中华内科杂志, 2025, 64(9): 886-890. doi: 10.3760/cma.j.cn112138-20250318-00163.

[33] Garcia R, Gras D, Mansourati J, et al. Pre-emptive treatment of heart failure exacerbations in patients managed with the HeartLogic™ algorithm [J]. ESC Heart Fail, 2024, 11(2): 1228-1235. doi: 10.1002/ehf2.14624.

[34] López-Azor JC, de la Torre N, Carmena MDGC, et al. Clinical utility of HeartLogic, a multiparametric telemonitoring system, in heart failure [J]. Cardiac Fail Rev, 2022, 8: e13. doi: 10.15420/cfr.2021.35.

[35] Treskes RW, Beles M, Caputo ML, et al. Clinical and economic impact of HeartLogic™ compared with standard care in heart failure patients[J]. ESC Heart Fail, 2021, 8(2): 1541-1551. doi: 10.1002/ehf2.13252.

[36] Ledesma Oloriz D, García Iglesias D, di Massa Pezzutti RA, et al. Comparative diagnostic efficacy of HeartLogic and TriageHF algorithms in remote monitoring of heart failure: a cohort study[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2025, 12(6): 209. doi: 10.3390/jcdd12060209.

[37] Sauer AJ, Stolen CM, Shute JB, et al. Results of the precision event monitoring for patients with heart failure using HeartLogic study (PREEMPT-HF) [J]. Heart Fail, 2025, 13(6): 973-983. doi: 10.1016/j.jchf.2025.01.028.

[38] Faragli A, Abawi D, Quinn C, et al. The role of non-invasive devices for the telemonitoring of heart failure patients[J]. Heart Fail Rev, 2021, 26(5): 1063-1080. doi: 0.1007/s10741-020-09963-7.

[39] Scholte NTB, Gürgöze MT, Aydin D, et al. Telemonitoring for heart failure: a meta-analysis[J]. Eur Heart J, 2023, 44(31): 2911-2926. doi: 10.1093/eurheartj/ehad280.

[40] Wattanachayakul P, Kittipibul V, Fudim M. Radiofrequency-based wearable sensor patch in heart failure management: a focused review [J]. Heart Fail Rev, 2025, 30(5): 1093-1097. doi: 10.1007/s10741-025-10511-4.

[41] Wattanachayakul P, Kittipibul V, Salah HM, et al. Non-invasive heart failure monitoring: leveraging smart scales and digital biomarkers to improve heart failure outcomes[J]. Heart Fail Rev, 2024, 29(5): 1145-1156. doi: 10.1007/s10741-024-10426-6.

[42] Iliodromitis K, Balogh Z, Triposkiadis F, et al. Assessing physical activity with the wearable cardioverter defibrillator in patients with newly diagnosed heart failure[J]. Front Cardiovasc Med, 2023, 10: 1176710. doi: 10.3389/fcvm.2023.1176710.

[43] Bautista CXP, Aguilar APT, Valenzuela RAA, et al. Heart failure remote monitoring: novel approaches and management strategies[J]. Sapienza, 2024, 5(2): e24029-e24029. doi: 10.51798/sijis.v5i2.756.

[44] Bashir H, Prasad P, Clark C, et al. Remote monitoring in heart failure: revolutionizing patient management and outcomes [J]. US Cardiol Rev, 2024, 18: e23. doi: 10.15420/usc.2024.23.

[45] Haywood HB, Sauer AJ, Allen LA, et al. The promise and risks of mHealth in heart failure care[J]. J Cardiac Fail, 2023, 29(9): 1298-1310. doi: 10.1016/j.cardfail.2023.07.005.

[46] Bhimaraj A, Benjamin TA, Guglin M, et al. Translating pressure into practice: operational characteristics of ambulatory hemodynamic monitoring program in the United States[J]. J Cardiac Fail, 2023, 29(11): 1571-1575. doi: 10.1016/j.cardfail.2023.05.021.

[47] Odeh VA, Chen Y, Wang W, et al. Recent advances in the wearable devices for monitoring and management of heart failure [J]. Rev Cardiovasc Med, 2024, 25(10): 386. doi: 10.31083/j.rcm2510386.

[48] Tenge T, Reekers S, Maier O, et al. Wireless patches for continuous vital sign monitoring, symptoms and medication at the end-of-life in the palliative care unit: a prospective observational study[J]. J Clin Monit Comput, 2025, 40(2): 547-555. doi: 10.1007/s10877-025-01343-6.

[49] Haveman ME, van Rossum MC, Vaseur RME, et al. Continuous monitoring of vital signs with wearable sensors during daily life activities: validation study[J]. JMIR Form Res, 2022, 6(1): e30863. doi: 10.2196/30863.

[50] Chi WN, Reamer C, Gordon R, et al. Continuous remote patient monitoring: evaluation of the heart failure cascade soft launch [J]. Appl Clin Inform, 2021, 12(5): 1161-1173. doi: 10.1055/s-0041-1740480.

[51] Kennel PJ, Rosenblum H, Axsom KM, et al. Remote cardiac monitoring in patients with heart failure: a review[J]. JAMA Cardiol, 2022, 7(5): 556-564. doi: 10.1001/jamacardio.2021.5090.

[52] 张　健,周京敏. 无创肺水测量仪临床应用专家共识[J]. 中华心力衰竭和心肌病杂志, 2023, 7(4): 217-227. doi: 10.3760/cma.j.cn101460-20231211-00217.

[53] 龙愉良,张　源,张晓春,等. 使用ReDS™无创肺水测量技术评估经导管三尖瓣瓣中瓣植入围手术期肺水容量首例报告[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2025, 4(32): 571-574. doi: 10.1016/j.jaccas.2021.10.037.

（编辑:刘　艺）