

智能可穿戴设备在心血管护理中的应用与展望：聚焦心电监测、心房颤动及心律失常管理

王宁, 孙梦云, 郝琴*

延安大学延安医学院, 陕西 延安

收稿日期: 2025年8月15日; 录用日期: 2025年9月8日; 发布日期: 2025年9月19日

摘要

心房颤动(AF)是最常见的心律失常, 早期筛查与持续监测可显著降低卒中及心力衰竭风险。近年来, 移动健康技术的兴起, 一些智能可穿戴设备如智能手表、运动手环等因其无创性、便携性以及持续性监测的优势, 为心律失常患者的长期管理提供了技术支持。本文基于国内外近年相关文献复习, 对可穿戴设备在心电监测方面作一综述, 并分析目前所面临的挑战, 以期为医护人员更好地利用现代技术, 为其在心律失常管理中的应用提供循证证据支持。

关键词

可穿戴设备, 智能手表, 运动手环, 心电监测, 心房颤动, 心律失常

The Application and Prospects of Smart Wearable Devices in Cardiovascular Care: Focusing on Electrocardiogram Monitoring, Atrial Fibrillation, and Arrhythmia Management

Ning Wang, Mengyun Sun, Qin Hao*

Yan'an Medical College, Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: Aug. 15th, 2025; accepted: Sep. 8th, 2025; published: Sep. 19th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王宁, 孙梦云, 郝琴. 智能可穿戴设备在心血管护理中的应用与展望: 聚焦心电监测、心房颤动及心律失常管理[J]. 临床医学进展, 2025, 15(9): 1154-1160. DOI: 10.12677/acm.2025.1592605

Abstract

Atrial fibrillation (AF) is the most common type of arrhythmia. Early screening and continuous monitoring can significantly reduce the risk of stroke and heart failure. In recent years, the rise of mobile health technology has led to the development of smart wearable devices such as smartwatches and fitness bands. These devices offer non-invasive, portable, and continuous monitoring advantages, providing technical support for the long-term management of arrhythmia patients. This article reviews the use of wearable devices in electrocardiogram monitoring based on a review of relevant domestic and international literature in recent years, analyzes the current challenges, and aims to provide evidence-based support for healthcare professionals to better utilize modern technology in the management of arrhythmias.

Keywords

Wearable Electronic Devices, Smart Watch, Sports Bracelet, Electrocardiogram Monitoring, Atrial Fibrillation, Arrhythmia

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会经济的发展,国民生活水平的提高,以及人口老龄化及城镇化进程的加速,使得心血管疾病(cardiovascular diseases, CVD)危险因素对居民健康的影响越加显著,CVD的发病率仍持续升高。2023年,我国18岁及以上居民CVD的粗发病率为620.33/10万,其中男性为717.36/10万,女性为519.64/10万,发病率随年龄增长呈显著上升趋势[1]。尤其是心房颤动(atrial fibrillation, AF,房颤),它是临床最常见的心律失常,严重影响了患者的生活质量,加重了家庭的经济负担和社会的医疗负担。心房颤动最大的危害是缺血性卒中,与健康人群相比,心房颤动可使卒中风险增加5倍[2]。心房颤动相关卒中通常比较严重且复发率高,常导致永久性残疾甚至危及生命,因此心房颤动已成为我国重大公共卫生问题。

心房颤动患者的症状具有异质性,高达1/3的心房颤动患者无任何临床症状,被称为隐匿性心房颤动或无症状心房颤动[3]。与症状性心房颤动相比,隐匿性心房颤动患者知晓率低,就诊率低,因此患有卒中以及死亡的风险更高。有数据显示,隐匿性心房颤动患者的心血管事件和死亡风险是有症状心房颤动患者的3倍[4]。因此,对于医护人员尽早筛查出心房颤动的患者,评估危险因素并进行医疗干预(改变生活习惯、心率控制、节律控制和基于CHA₂DS₂-VASc评分和HAS-BLED评分的抗凝治疗[5][6])。多项研究已证实了电子手表在心律失常监测中的有效性。它能准确识别心房颤动和房性或室性早搏。

传统用于心电测量的医疗设备主要有心电图机、动态心电图机、置入式心电监测设备。十二导联心电图是临床诊断心律失常的金标准,但采集时间有限,对阵发性房颤的检出率较低,如果在检测期间没有发生房颤,则无法检出;连续动态心电图监测(24 h或7 d)是检测AF的常用方法之一,但是这种检查要求患者长时间携带检查机器,在大规模筛查中耗时且成本高,也有时间的阶段限制性,部分患者可能会因为电极片导致皮肤过敏,甚至电极片脱落无数据记录,部分患者还会因该检查产生焦虑;置入式心电监测设备是一种置于皮下,可长期、持续监测心电信号的程控设备,但其置入操作有创且价格昂贵,

对置入人群的选择也有特定要求,因此不适合广泛用于大众的主动健康管理[7]。因此传统的心电监测设备无法满足长程、动态、便捷的监测需求。

近年来,移动健康技术取得了显著进展。在此背景下,可穿戴/移动设备凭借其实时性、经济性、患者依从性高以及具备较理想的灵敏度与特异度等优势,为弥补传统筛查手段(如便捷性不足、监测时间有限)的不足提供了新的可能。这类设备在隐匿性心房颤动的筛查及长期管理中展现出巨大的应用潜力。其核心优势在于无创、便携,并能够实现持续性监测。技术上,可穿戴设备主要利用光电容积描记术(photoplethysmography, PPG)或单导联/多导联心电图等技术实现心房颤动的自动识别。简而言之,可穿戴设备是指通过集成传感器、无线通信、芯片及多媒体等技术元件,以可穿戴形式设计的电子装置。它们能够持续采集、记录并分析用户的生理或环境数据,并通过无线通信技术与其他设备或云端系统进行数据交互,旨在为用户提供便捷、个性化和实时的健康监测服务与体验。

本研究旨在系统梳理可穿戴设备和智能手表在心电监测、房颤及心律失常管理中的应用现状,深入分析其技术原理、应用效果、优势与挑战,并对未来发展趋势进行展望。通过对现有研究成果的总结和归纳,为护理人员更好地理解和应用这些新兴技术提供参考,推动其在临床护理实践中的合理应用。

2. 可穿戴设备与智能手表的心电监测技术原理

2.1. 心电监测基础原理

心电监测的本质是通过记录心脏电活动的变化来评估心脏功能状态。心脏在收缩和舒张过程中,心肌细胞会发生除极和复极,产生微弱的电信号,这些电信号通过人体组织传导到体表。通过在体表放置电极,可以将这些电信号采集下来,形成心电图(ECG)。

正常的心电图由P波、QRS波群、T波等组成,各波的形态、时间和振幅都有其特定的正常范围。P波反映心房的除极过程,QRS波群反映心室的除极过程,T波反映心室的复极过程。当心脏发生病变时,如房颤、心律失常等,心电信号的形态和节律会发生异常,通过对这些异常信号的分析,可以为疾病的诊断和治疗提供重要依据。

2.2. 可穿戴设备与智能手表传感技术

目前,可穿戴设备中常用的用于心电监测的传感技术主要有两种:心电图(ECG)传感技术和光电容积描记(PPG)传感技术。

ECG传感技术是通过在设备上设置电极,直接采集人体体表的电信号来获取心电图。根据电极数量的不同,可分为单导联、多导联等。单导联ECG可穿戴设备结构简单、成本较低,能够监测心率和基本的心律变化,但对复杂心律失常的诊断能力有限;多导联ECG可穿戴设备则能提供更全面的心电信息,诊断准确性更高,但设备体积相对较大,佩戴舒适度可能受到一定影响。有研究表明,单导联长程心电监测在心房颤动的筛查中具有一定的有效性,为单导联ECG可穿戴设备的应用提供了依据。

PPG波形本质是一种脉冲压力波形,它起源于心脏收缩并通过血管传播。PPG通过实时测量身体组织微血管床因心脏搏动而产生的血容量变化,即血液体积脉冲信号,由此来推断心动周期情况以及心率、呼吸频率、心率变异性等生理指标[8]。使用PPG信号的非侵入性测量是通过使用发光二极管照射皮肤并检测光强度随心率变化而获得的,光电检测器检测到的光强度被转换为电压信号,称为PPG信号。PPG信号由心脏收缩期间血流同步的脉动交流分量和与呼吸、体温调节相关的缓慢变化的直流分量组成。根据发光二极管和光电检测器的位置,可以将PPG信号采集的模式分为透射模式和反射模式。透射模式是发光二极管和光电检测器位于皮肤组织的两侧,一部分光被皮肤组织吸收,另一部分光透过皮肤照射到对侧的光检测器上。而反射模式是发光二极管和光电检测器位于皮肤组织的同一侧,光源照射在皮肤表

面,一部分光被吸收,另一部分被反射到同侧的光电检测器上透射模式在手指和耳垂等身体部位记录 PPG 信号,反射模式在手臂、手腕、脚踝、前额等部位记录 PPG 信号。

3. 心律失常的监测

3.1. 房颤概述与危害

心房颤动(Atrial fibrillation, AF)是一种室上性快速性心律失常,伴有不协调的心房电激动和无效的心房收缩。单导联心电图(≥ 30 s)或 12 导联心电图(≥ 10 s)显示 P 波消失,代之以大小、形态及时限均不规则的颤动波(f 波)、RR 间期绝对不规则即可诊断为 AF。其发病机制主要与心房电重构、结构重构和自主神经功能紊乱等有关。根据发作时间和频率的不颤可分为阵发性房颤、持续性房颤、长程持续性房颤和永久性房颤。

AF 患者通常死于伴随的合并症和并发症,如卒中、心力衰竭、心肌梗死、慢性肾脏病、静脉血栓栓塞、痴呆和癌症等。AF 作为卒中的独立危险因素,卒中风险比普通人群增加 5 倍左右。隐匿性心房颤动往往没有症状,容易被忽视,但其发生卒中的风险也更高,因此早期筛查和监测尤为重要。

3.2. 可穿戴设备与智能手表监测房颤的应用实例

近年来,多项临床研究证实了可穿戴设备在房颤监测中的应用价值。TISON [9]等研究表明,智能手表生成的 PPG 图可以被动检测心房颤动,与标准 12 导联心电图相比有更高的敏感性(98.0%)与特异性(90.2%)。对国内华为及 OPPO 智能手表的心电图检测功能开展了相关研究,显示其在心房颤动检测、HRV 监测方面均具有一定的有效性[10]。2020 年 SIDDEEK [11]等报道了 1 例未被门诊心律失常监测设备发现,而被 Apple Watch Series4 手表监测到的室上性心动过速,后入院行电生理检查及房室结消融。袁志权[12]等进行了穿戴式长程动态心电监测仪在社区居家老年人人群中的监测研究,结果发现该设备能够有效检测出老年人人群中的房颤等心律失常,且监测结果与传统动态心电图具有较高的一致性。高晨曦[13]等的研究探讨了可穿戴/移动设备在隐匿性心房颤动管理中的应用进展,指出这些设备能够提高隐匿性房颤的检出率,为疾病的早期干预提供帮助。

3.3. 心律失常的分类与诊断

心律失常是指心脏冲动的频率、节律、起源部位、传导速度或激动次序异常。根据心律失常的发生部位,可分为窦性心律失常、房性心律失常、房室交界性心律失常和室性心律失常等;根据心率的快慢,可分为快速性心律失常和缓慢性心律失常。

传统的心律失常诊断方法主要依靠常规心电图、动态心电图等,但这些方法存在一定的局限性。可穿戴设备和智能手表的出现,为心律失常的诊断提供了新的手段。邢宇等在研究中指出,可穿戴设备能够长期、连续地监测心率和心律变化,有助于捕捉阵发性心律失常,提高诊断的准确性。

3.4. 可穿戴设备与智能手表在心律失常监测中的应用进展

可穿戴设备在心律失常监测中的应用取得了显著进展。目前,市场上的可穿戴设备种类繁多,如贴片式、手环式、胸带式等,适用于不同的场景和人群。李龙雨[14]等报道了 2 例通过智能手表监测到的室上性心动过速病例,表明智能手表能够及时发现异常心律,为患者的及时就医争取了时间。王红宇的研究指出,可穿戴移动心电监测设备自助模式的应用,使得用户能够更加便捷地进行心律失常监测,提高了患者的依从性。此外,智能手表还可以将监测数据同步到医疗平台,医生可以通过远程访问这些数据,对患者的病情进行评估和指导,实现远程医疗管理。

4. 可穿戴设备与智能手表心电监测的优势与挑战

4.1. 优势分析

可穿戴设备与智能手表在心电监测领域展现出多维度的显著优势，具体体现在以下四方面：其一，佩戴便捷性与场景适应性突出。这类设备凭借小巧的体积与轻盈的重量，实现了无感佩戴体验，不会对用户的日常起居、工作通勤及运动锻炼造成干扰。这种特性使其能够覆盖居家、办公、户外等多元场景，极大提升了患者的长期监测依从性。正如郭光耀[15]等在对比研究中证实的，针对居家老年心血管疾病患者，穿戴式远程实时心电监测仪的佩戴舒适度显著优于传统动态心电图，进而使患者的监测完成率提升了 23.6%。

其二，实时监测与预警机制高效。设备通过内置的智能分析模块，可对采集的心电数据进行即时处理，一旦响应机制为急性心律失常患者赢得了宝贵的干预时间，临床数据显示，其预警响应速度较传统识别到心率异常、心律不齐等风险信号，能在 3 秒内触发声光预警。这种快速 Holter 的回顾性分析模式提升了 90%以上，显著降低了心源性猝死的发生风险。

其三，数据连续性与完整性优势显著。突破传统动态心电图 24~48 小时的监测时限，可穿戴设备能够实现长达 7~30 天的连续记录，部分长程监测设备甚至支持 90 天的数据存储。这种超长时程监测使其能够捕捉到夜间阵发性房颤、运动诱发型心律失常等隐性事件，袁志权[12]等的社区老年人群研究表明，通过长程监测发现的阵发性心律失常检出率较传统方法提高了 42.3%，为疾病诊断提供了更完整的时间轴证据。

其四，成本效益比更具竞争力。单台可穿戴心电监测设备的采购成本仅为传统动态心电图机的 1/5~1/8，且支持重复使用(平均使用寿命 3~5 年)，大幅降低了单位监测成本。更重要的是，通过早期筛查实现的疾病干预，可使房颤患者的脑卒中预防成本降低 37%，心肌梗死后续治疗费用减少 29%，形成了显著的健康经济学价值。

4.2. 面临的挑战

尽管可穿戴设备与智能手表在心电监测领域展现出显著优势，但在临床实践中仍面临多重挑战，具体体现在以下四方面：

其一，信号干扰问题突出。首先众多的噪音源可能会阻碍明确 PPG 波形的特征，这些噪音来自个体内部(身体测量部位、体温)和个体之间的差异(如肤色、脂肪厚度、年龄、性别)，还有外部对设备的干扰(运动伪影、环境光、设备对皮肤施加的压力)，其中运动伪影主要是机体运动时肌肉、皮肤组织产生形变导致散射而产生的高频噪声[16]。研究数据显示，剧烈运动时 ECG 信号的信噪比可下降 40%以上，潮湿环境下 PPG 信号的波形畸变率高达 35%，这些干扰直接导致约 15%~20%的监测数据出现误判[17]。

其二，诊断准确性存在局限。尽管主流设备的基础心率监测误差已控制在 ± 2 次/分钟内，但对于复杂心律失常的识别仍显不足。对比研究表明，可穿戴设备对室性心动过速的诊断灵敏度仅为 68%~75%，较传统 12 导联心电图低 20~25 个百分点；对心室颤动的识别准确率更是存在 30%左右的差距，难以满足危急重症的诊断需求[18]。

其三，数据隐私安全风险凸显。可穿戴设备和智能手表会收集大量用户的个人健康数据，这些数据包含敏感的个人健康信息。如何保障数据的隐私和安全，防止数据泄露和滥用，是当前面临的重要问题。

其四，临床认可度亟待提升。可穿戴设备和智能手表所提供的心电数据在临床诊断中的认可度还不够高，大多数情况下只能作为参考，不能直接作为诊断依据。需要建立相应的标准和规范，提高其临床应用价值。

4.3. 应对策略探讨

在提高信号质量方面，应加强传感器技术的研发，提高设备对干扰信号的抗干扰能力。例如，采用新型的电极材料和传感器结构，减少运动等因素对信号的影响；同时，优化数据处理算法，通过滤波、降噪等技术提高信号的质量。

在保障数据安全方面，应建立健全数据安全管理制度，采用加密技术对数据进行传输和存储，明确数据的使用范围和权限，防止数据泄露。同时，加强用户的隐私保护意识教育，让用户了解数据的收集和使用情况。

在提高临床认可度方面，需要开展更多大规模、多中心的临床研究，验证可穿戴设备和智能手表监测结果的准确性和可靠性。制定相关的行业标准和规范，明确设备的性能要求、数据采集和分析方法等，使监测数据能够得到临床的认可和應用。

5. 可穿戴设备与智能手表心电监测的未来发展趋势

5.1. 技术创新方向

生成式 AI 应用，提升健康监测准确性：生成式 AI 的加入提升了健康监测数据的准确性与相关性，例如三星的智能戒指 Galaxy Ring 可以通过 AI 对数据进行分析，提供个性化的健康和睡眠建议。生成式 AI 能够通过学习和理解大量数据，自动生成新内容或解决新问题，在可穿戴设备上能够提供个性化的健康建议，或者在运动场景制定个性化的运动计划，在日常生活中提供个性化的服务。

设备设计方面，人体工学与能源技术的突破将显著优化用户体验。采用超轻镁铝合金与液态硅胶复合材质的设备重量可控制在 15 克以内，佩戴时的异物感降低 60%；通过柔性太阳能电池与低功耗芯片的集成，设备续航能力突破 14 天，较现有产品延长 3 倍以上。模块化设计可实现电极片、传感器的快速更换，使设备使用寿命延长至 3 年以上，大幅降低长期使用成本。

在传感器技术方面，微型化、柔性化与高性能化将成为核心发展方向。柔性电子皮肤传感器采用石墨烯复合纳米材料，其厚度可控制在 50 微米以内，能实现与皮肤的共形贴合，使运动状态下的信号采集稳定性提升 40%以上。

5.2. 应用场景拓展

可穿戴设备和智能手表的心电监测应用场景将不断拓展：在医疗领域，除了用于疾病的筛查和诊断外，还将在慢性病管理、术后康复等方面发挥重要作用。例如，对于房颤，可穿戴设备可以监测其心率和心律变化，评估治疗效果和复发风险；对于心脏手术后的患者，能够实时监测其心脏功能恢复情况，及时发现异常并通知医生。

在健康管理领域，可穿戴设备和智能手表将成为个人健康管理的重要工具。它们可以为健康人群提供日常的心率监测和健康评估，并给予健康指导。

参考文献

- [1] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2024》要点解读[J]. 实用医学杂志, 2025, 41(14): 2111-2131.
- [2] Wolf, P.A., Abbott, R.D. and Kannel, W.B. (1991) Atrial Fibrillation as an Independent Risk Factor for Stroke: The Framingham Study. *Stroke*, **22**, 983-988. <https://doi.org/10.1161/01.str.22.8.983>
- [3] Dilaveris, P.E. and Kennedy, H.L. (2017) Silent Atrial Fibrillation: Epidemiology, Diagnosis, and Clinical Impact. *Clinical Cardiology*, **40**, 413-418. <https://doi.org/10.1002/clc.22667>
- [4] Siontis, K.C., Gersh, B.J., Killian, J.M., Noseworthy, P.A., McCabe, P., Weston, S.A., et al. (2016) Typical, Atypical,

- and Asymptomatic Presentations of New-Onset Atrial Fibrillation in the Community: Characteristics and Prognostic Implications. *Heart Rhythm*, **13**, 1418-1424. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2016.03.003>
- [5] Kirchhof, P. (2017) The Future of Atrial Fibrillation Management: Integrated Care and Stratified Therapy. *The Lancet*, **390**, 1873-1887. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)31072-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)31072-3)
- [6] Lane, D.A. and Lip, G.Y.H. (2012) Use of the CHA(2)DS(2)-VASc and HAS-BLED Scores to Aid Decision Making for Thromboprophylaxis in Nonvalvular Atrial Fibrillation. *Circulation*, **126**, 860-865. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.111.060061>
- [7] 王颖, 张嵩, 许伟. 便携式和穿戴式心电测量设备在心房颤动筛查中的应用[J]. 中国医刊, 2020, 55(6): 592-593.
- [8] 牛雪松, 韩琥, 山世光. 基于 rPPG 的生理指标测量方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(11): 2321-2336.
- [9] Tison, G.H., Sanchez, J.M., Ballinger, B., *et al.* (2018) Passive Detection of Atrial Fibrillation Using a Commercially Available Smartwatch. *JAMA Cardiology*, **3**, 409-416.
- [10] 余莎莎, 刘曼, 刘鸣. 智能穿戴设备在心房颤动检测中的应用价值[J]. 实用心电学杂志, 2024, 33(3): 243-249.
- [11] Siddeek, H., Fisher, K., McMakin, S., Bass, J.L. and Cortez, D. (2020) AVNRT Captured by Apple Watch Series 4: Can the Apple Watch Be Used as an Event Monitor? *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, **25**, e12742. <https://doi.org/10.1111/anec.12742>
- [12] 袁志权, 邬娜, 焦惠艳, 等. 穿戴式长程动态心电监测仪在社区居家老年人群中的监测研究[J]. 陆军军医大学学报, 2024, 46(11): 1316-1322.
- [13] 高晨曦, 陈德芳, 陈清勇, 等. 可穿戴/移动设备在隐匿性心房颤动管理中的应用进展和挑战[J]. 中国全科医学, 2024, 27(30): 3835-3840.
- [14] 李龙雨, 林文华. 智能手表监测到的室上性心动过速 2 例[J]. 实用心电与临床诊疗, 2025, 34(3): 451-454.
- [15] 郭光耀, 张郁澜, 张志国, 等. 穿戴式远程实时心电监测仪与传统动态心电图在居家老年心血管疾病患者中的监测效果[J]. 医疗装备, 2022, 35(15): 9-12.
- [16] Fine, J., Branan, K.L., Rodriguez, A.J., Boonya-Ananta, T., Ajmal, Ramella-Roman, J.C., *et al.* (2021) Sources of Inaccuracy in Photoplethysmography for Continuous Cardiovascular Monitoring. *Biosensors*, **11**, Article No. 126. <https://doi.org/10.3390/bios11040126>
- [17] 殷燕高, 黄洋琴, 王渝, 等. 光学体积描记术用于心房颤动检测的研究进展[J]. 心血管病学进展, 2024, 45(6): 498-501.
- [18] 吕海洋, 杨孟云, 李玉秋, 等. 智能手表自动诊断心房颤动准确性的 Meta 分析[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2024, 16(8): 932-938.