

# 长程动态心电监测技术的临床应用进展

王慕秋 高敏

**【摘要】** 长程动态心电监测技术(Long-term Holter electrocardiography, LTHE)作为一种无创性监测,近年来得到广泛应用。设备种类繁多,有贴片式、可穿戴式以及植入式,在临床应用中可实现多导联、长时程、远距离遥测等功能,本文简要概述其发展历程及临床应用现状,并探讨其在心血管疾病临床诊疗中的重要价值。

**【关键词】** 长程动态心电监测技术; 可穿戴设备; 心律失常

**【中图分类号】** R541.7 R540.4+1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1005-0272(2025)05-387-06

**【引用格式】** 王慕秋, 高敏. 长程动态心电监测技术的临床应用进展[J]. 临床心电学杂志, 2025, 34(5): 387-392.

**Advancements in the clinical application of Long-term holter electrocardiography** WANG Muqiu, GAO min. The First Affiliated Hospital of China University of Science and Technology (Anhui Provincial Hospital), Anhui Hefei 230001, China.

**【Abstract】** Long-term Holter electrocardiography, a non-invasive cardiac electrophysiological monitoring method, has been widely applied in the diagnosis and management of cardiovascular diseases in recent years. Presently, there are various types of long-term dynamic electrocardiographic monitoring devices, such as patch-type, wearable and implantable electrocardiographic monitoring devices. In clinical practice, they can achieve the functions of multi-lead, long-term and long-distance telemetry of electrocardiographic monitoring. This paper briefly reviews the development history and current clinical application of long-term dynamic electrocardiographic monitoring technology, and explores its important value in the clinical diagnosis and treatment of cardiovascular diseases.

**【Keywords】** Long-term Holter electrocardiography; Wearable cardiac monitor; Arrhythmias

心血管疾病(Cardiovascular diseases, CVD)在中国的发病率和死亡率持续上升,已成为公共卫生领域的重大挑战。根据《中国心血管健康与疾病报告2024》<sup>[1]</sup>,2023年我国心脑血管疾病粗发病率达620.33/10万,总体呈逐年上升趋势。早期筛查和诊断对于降低全民发病率和死亡率具有重要的临床意义。通过及时识别高风险人群并进行干预,可以显著改善患者的预后。

LTHE 在心血管疾病的诊疗中发挥着越来越重要的作用。随着技术的进步,其便携性和准确性<sup>[2]</sup>得到了显著提升,医生能够在更长时间内监测患者的心电活动。本文就 LTHE 在临床上的应用进展作一综述。

## 1 LTHE 的发展历程与设备分类

### 1.1 传统动态心电监测到 LTHE 的演变

1961年, Norman J. Holter 发明了首台动态心电监测设备,常规动态心电图监测也因此以 Holter 命名<sup>[3]</sup>。这一划时代的发明开创了院外记录心电图的先河。早期设备体积庞大,记录时间通常仅限于24小时,不仅不便于佩戴,且对于偶发性心律失常的监测灵敏度不足。

随着20世纪90年代数字化技术的应用。不仅提高了信号的质量,还显著提升了数据存储的效率。这一技术的进步使得心电的采集和分析过程变得更加精准和便捷。允许医生远程对病人的心律失常进行监控和分析,大大提高了对心律失常的识别和处

基金项目:安徽省卫生健康科研重点项目(编号:AHWJ2022a008)

作者单位:230001 安徽合肥,中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)心电科

作者简介:王慕秋,主要从事心电诊断学工作。

通信作者:高敏, E-mail: Gm197866@mail.ustc.edu.cn

理速度<sup>[4]</sup>。

多通道监测技术的普及,尤其是12导联的使用,使得心律失常和心肌缺血的定位更加精准。医生能够从不同的角度观察心电活动,更全面地了解心脏的健康状态,从而更好地定位潜在的异常区域。极大地提升了心电监测的诊断能力,尤其是在复杂的的心脏疾病管理方面<sup>[5]</sup>。

随着智能手机和可穿戴设备的迅猛发展,给心电监测领域也带来了跨越式的进步。可穿戴设备通过接收蓝牙信号,回传心电数据,工作站软件终端可借助于人工智能算法检测识别心律失常。这一技术创新使患者得以居家进行监测,并在发现异常时及时与医生沟通,显著提升了患者的生活质量与安全感<sup>[4]</sup>。数字化与多通道技术的结合,通过整合数据分析与监测设备,可以获得更为详尽的数据,进而制定更加个性化和有效的治疗方案。这种数据驱动的医疗方式,将成为未来心脏病管理的重要趋势,为管理和治疗带来深远的影响<sup>[6]</sup>。

## 1.2 现有 LTHE 设备分类

现有的 LTHE 设备分为贴片式监测仪、可穿戴设备和植入式心电记录仪(Implantable loop recorder, ILR)三种类型。

贴片式监测仪是体积小、佩戴方便,可长时间监测。以 Zio Patch 为例,通过微针阵列电极降低接触阻抗,提升信号可靠性和稳定性<sup>[7]</sup>。它具有一次性使用特性,佩戴舒适度高,检查期间不受沐浴和运动影响,通过无线传输实时获取数据。

可穿戴设备(如智能手表和胸带等)则是另一种长程监测技术。通常利用光电容积描记法(Photoplethysmography, PPG)和电生理信号来监测心率和心律变化。智能手表可以在日常活动中提供实时心率数据,具有较高的便捷性,患者可操作性强<sup>[8]</sup>,也帮助用户更好地了解自己的健康状况。此外,胸带监测器则以其更高的准确性和稳定性著称,特别是对运动时的心率监测。

ILR 则适用于需要长时间的连续监测,最长可达数年。其植入技术相对简单,一般在局部麻醉下进行,患者可以在日常生活中几乎无感地进行监测<sup>[9]</sup>。这种技术的优势在于其能够提供连续的心电数据,有助于医生及时发现潜在的心律失常并进行干预。

## 2 LTHE 的临床应用研究

### 2.1 健康人群的房颤(AF)筛查

AF 是最常见的心律失常,其特点是心房电活动

快速而无序,导致心房收缩效率降低。早期发现和管理对于降低相关并发症的风险至关重要。近年来,LTHE 在房颤的检出和管理中,显示出了显著的优势。

波兰一项横断面研究<sup>[10]</sup>,对全国有代表性的 3014 名 65 岁及以上公民进行了随机抽样,所有参与者接受长达 30 天的连续 ECG 监测。发现 AF 患病率为 19.2%,阵发性 AF 占 10.8%,持续性/永久性 AF 占 8.4%,随着 ECG 监测时间延长,阵发性 AF 检出率从 24 小时的 1.9%递增至 4 周时的 6.2%。新加坡学者 Cai 等<sup>[7]</sup>进行了一项前瞻性研究发现,应用贴片式长程动态设备,对 355 名既往未发现 AF 患者进行为期 14 天的不间断心电监测,共检出了 6 名患者,其中 1/3 是在第 7 天检出。这种显著的提升,得益于 LTHE 能够捕捉到临床工作中常常被忽视的短暂 AF 发作,尤其是在无症状患者中,许多 AF 的发作并未被患者自我觉察。

随着可穿戴设备和移动健康技术的进步,使 AF 的检测与管理变得更加便利和高效。例如,智能手表和手持设备能够利用 PPG 和单导联心电图(Single-Lead ECG)技术进行监测,准确性逐渐得到了验证<sup>[11]</sup>。2025 年,一项荷兰的前瞻性单中心研究显示<sup>[12]</sup>,对 150 名患者进行为期 28 天的心电腕带佩戴,当 PPG 中嵌合的人工智能检测算法检测到 AF 时,系统会向智能手机发送通知,提示患者通过用对侧手的两个手指,握住手环边缘来执行单导联心电图。患者通过手机应用程序蓝牙连接,将心电腕带 PPG 和 ECG 测量数据传输到基于云的系统,对心电报告进行审查。研究显示,PPG 和单导联心电图算法在检测 AF 时,特异性 $\geq 98\%$ ,敏感性 $\geq 95\%$ ,与 24 小时 Holter 相比,AF 负荷的相关性达到 99%。AF 的患病率从 24 小时 Holter 的 14.7%增加到 28 天的 26.7%。验证了可穿戴设备在检测和评估 AF 负荷方面的出色表现。同时值得注意的是,AF 的心电图警报有 69.8%的病例及时作出了反应,仅在心电图警报后一小时内进行的单导联心电图检查中,66.8%的病例确认了 AF。显示了患者应对该设备良好的依从性,证实了搭载 AI 诊断模块,具备遥测功能的可穿戴设备对于 AF 早期筛查的高效性和及时性。

### 2.2 隐源性脑卒中患者的病因筛查

隐源性卒中患者 AF 筛查的价值不可小觑。研究显示有高达四分之一的缺血性脑卒中与 AF 有关。对于近期发生脑缺血患者,如果未发现其他中风原因,

常规建议进行 AF 筛查。近年来国内以及欧洲心脏病学会发布的 AF 管理指南中<sup>[13-14]</sup>都将长程动态心电监测,作为脑卒中患者 AF 筛查的重要检查手段,越来越受到临床的重视。

有研究显示<sup>[15]</sup>,急性脑卒中者入院前三天阵发性 AF 的检出率可达近 30%。何佩娟等<sup>[16]</sup>通过对急性缺血性脑卒中患者住院期间 6 天连续动态心电监测发现,阵发性 AF 的检出率达 16.88%,远高于 24 小时动态检出率(7.79%)。这一发现与既往文献报道的结果相近,且前三天发现总 AF 例数的 92.31%,提示早期监测的重要性。此外,Himmelreich 等<sup>[17]</sup>通过对 379 例低风险缺血性卒中或短暂性脑缺血发作患者延长达 14 天动态心电监测发现:所有 AF 均在前七天检出,前两日检出所有 AF 的 70%。这表明,针对不同风险人群,合理设定监测时长可能是提高效率的关键。这些研究共同揭示了长程动态心电监测在早期识别阵发性 AF 方面的潜力,同时强调了个性化监测策略的必要性。

通过延长监测时间,如使用 ILR 进行长达 6 个月的监测,能够显著提高 AF 的检出率。在一项大样本量随机对照试验中,6 004 人被纳入并随机分组,ILR 组的 AF 检出率为 31.8%,而对照组仅为 12.2%<sup>[18]</sup>。结果显示,长时间的心电监测不仅提高了房颤的检出率,还有助于及时启动抗凝治疗,从而降低卒中风险。ILR 的监测效果显著,但其成本和患者的接受度也是必须考虑的因素<sup>[19-20]</sup>。此外,新的数字健康技术(如智能手表和移动监测设备)也逐渐被应用于 AF 的筛查中,显示出良好的敏感性和特异性,为临床实践提供了新的可能性<sup>[21]</sup>。

### 2.3 心肌梗死患者的临床应用

2019 年,美国苹果公司的 Apple Watch 4 通过模拟三导联心电图<sup>[22]</sup>,实现多点采样,开创了可穿戴设备早期监测心肌梗死的先河。2020 年,美国 AliveCor 公司提出了一种系统,通过使用智能手机上的传感器,利用两个电极,对采集心电信号进行向量求和。生成“12 导联等效心电图”,并通过 ST-Leus 试验<sup>[23]</sup>,对 200 名胸痛患者对比测试发现,灵敏度和特异度能达到 89%和 84%。近年来,随着人工智能行业的飞速发展,搭载 AI 智能诊断的可穿戴心电设备进入大众的视线,2022 年,沈娟等<sup>[24]</sup>通过院外 12 导联穿戴心电设备预警 ST 改变的 441 例患者心电图研究发现,AI 诊断 STEMI 的敏感度和特异度高达 88.37%和 79.31%。2025 年,Yang 等<sup>[25]</sup>设计了一种新型

可拉伸生物电极,这种外观呈“T”型的柔性多导电极贴片在 100%的拉伸应变范围内不敏感,同时能够连续获取七导联心电图信号。该电极搭载了心肌梗死识别和定位的机器学习模型,用于心肌梗死异常段的自动化标注。同时解决了异常波形的识别和导联间关系的整合,对于心肌梗死的机器学习模型训练准确率达 99.93%,灵敏度达到 99.98%。有助于实现个性化医疗监测与干预,以及心肌梗死的早期预警。

### 2.4 患者预后的评估及死亡风险预测

心电指标对于不良预后及心源性猝死的预测有着重要价值。在人工智能的赋能下,QT 间期延长、QRS 波群时限延长、QRS 波群碎片化及早期复极化等心电指标的测量评估更加精准高效。2020 年,Kwon 等<sup>[26]</sup>通过回顾性对两家医院万余名住院患者的心电图数据,进行开发并验证了一种基于心电图预测心脏骤停的深度学习算法(DLA),可以有效预测心脏骤停,并且嵌入该算法的可穿戴设备可以替代 12 导联心电设备,完成筛查和预测。2022 年,Kenet 等<sup>[27]</sup>通过回顾性分析儿科重症监护室的 1000 多名患儿的心电图,对六种机器学习模型进行了评估。发现 XGBoost 表现最佳,可以在心脏骤停发生前三小时内预测其发生,从而让临床医生能够更早地采取干预措施。2023 年,Verrier 等<sup>[28]</sup>为急性心肌梗死患者佩戴 Preventice BodyGuardian MiniHolter EL(一种贴片式长程动态监测仪),连续记录 7 天心电图,通过 T 波交替(TWA)和 T 波异质性(TWH)来评估观察发病后的心脏电不稳定性及自主神经功能的每日变化。研究发现 SCD 风险恢复时间与 TWA 水平下降及 rMSSD-HRV 改善之间存在对应关系。为心肌梗死患者 SCD 风险早期干预提供了评判指标和依据。2024 年,Lin 等<sup>[29]</sup>的一项多中心对照研究中发现,涉及 39 名医生和 15,965 名患者。患者随机分成干预组与对照组。干预组患者可获得 AI-ECG 支持,通过 AI-ECG 分层,高死亡风险患者将向医生发送 AI 报告和警告信息。结果显示,实施 AI-ECG 警报的干预组 90 天内全因死亡率显著降低,差异有统计学意义。

### 2.5 心源性晕厥患者的应用

心源性晕厥是由多种原因导致的心输出量降低及大脑供血突然减少,进而造成急性脑缺血引发晕厥的症状。尽管早期识别心源性眩晕,对于预防心血管疾病的严重并发症至关重要,但当症状表现为不典型反复出现的眩晕、头晕而无晕厥时,诊断变得尤

为困难。常规 24 小时动态监测由于时间短、依从性差以及缺乏实时反馈,极大的限制了心源性晕厥的诊疗效能。

近年来,随着可穿戴设备的日益发展,LTHE 在心源性晕厥诊断中的应用逐渐引起关注。2025 年 Kim 等<sup>[30]</sup>通过开展一项多中心前瞻性研究,比较了 72 小时可穿戴心电贴片监测与传统 24 小时 Holter 监测在诊断心源性眩晕方面的效能。结果显示,在整个监测期间,两种方法在心律失常事件的总体检出率上虽然长时程监测更高,差异无统计学意义(分别为 21.3%和 17.0%, $P=0.500$ )。但患者普遍更倾向于使用可穿戴心电贴片,长程心电贴片具有更高的舒适性和便利性。

与传统 Holter 监测相比,可穿戴设备的长期监测能力使得其在检测偶发性心律失常事件方面具有明显优势。随着监测时间的延长,频发室性早搏和非持续性室性心动过速的检出率显著提高。Gomez 等<sup>[31]</sup>研究进一步支持了这一观点。通过对高风险女性群体进行为期 7 天的连续心电监测,发现频繁 PVCs 的发生率为 4.3%,并与其 CHARGE-AF 评分呈正相关。近期一项德国的研究<sup>[32]</sup>通过回顾性分析了 675 例确诊晕厥植入 ILR 的患者,评估其两年随访期的心脏诊断与治疗方案,随访期间,65.0%患者确诊心律失常,并接受以下抗心律失常治疗:起搏器植入(20%)、除颤器植入(1.5%)、消融治疗(3.0%)及抗心律失常药物治疗(4.7%)。除典型晕厥相关诊断外,37.0%患者确诊房颤/房扑,21.5%启动抗凝治疗。研究证实 ILR 植入对心律失常具有较高诊断效能。由此可见,对于不明原因晕厥的患者,LTHE 通过延长监测时间,能够捕捉到常规动态心电监测中遗漏的重要心律失常事件。

## 2.6 肥厚型心肌病(Hypertrophic cardiomyopathy, HCM)患者的临床应用

HCM 患者由于室性和其他心律失常,突发心源性猝死(Sudden Cardiac Death,SCD)的风险增加,筛查心律失常又是评估个体 SCD 风险的必要措施。2023 年发布的《中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南》<sup>[33]</sup>中推荐将 24~48 小时动态心电监测作为诊断方法,以评估心律失常、SCD 的风险,并建议将该检查纳入生活随访和管理中。对于左心房内径 $\geq 45$  mm 者检查频率控制在半年~1 年内,出现晕厥、心悸等不适症状的患者应及时检查,凸显了该项检查对于 HCM 患者的重要价值。

Rowin 等<sup>[34]</sup>通过应用贴片式设备对 HCM 患者进行连续 2 周的监测与 48 小时相比所发现的 NSVT 负荷。发现 14 天监测期的 NSVT 检出率是 $\leq 48$  小时的 2.7 倍( $P<0.001$ ),被判定为更高风险的 NSVT( $\geq 8$  次心跳、 $>200$  bpm、连续 2 天内 $\geq 2$  次发作)在延长监测期间更常被发现,检出率是 $\leq 48$  小时的 3.0 倍( $P<0.001$ ),证实了连续心电监测的时长对于 HCM 患者猝死风险筛查具有重要意义。Laksman 等<sup>[35]</sup>将植入式心脏监测仪(ICM)通过蓝牙技术直接连接患者智能手机 app,开发了一种新型的双向通信警报系统,患者出现症状后,可通过手机应用程序界面向设备诊所发送手动传输信号,设备诊所工作人员会对这些传输信号进行审查,并根据记录到的心律临床意义将其标记为绿色、橙色或红色警报,并以短信和/或电子邮件反馈给患者。研究发现,有 61%患者通过 ICM 检测到非持续性室速,其中 90%最终在随访期间接受了预防性 ICD 植入。总体而言,采用双向系统促进 ICM 传输信号的沟通对设备诊所工作人员具有可行性,该系统显著提高了 NSVT 的检出率。

同时,长程动态心电监测技术的应用,在 HCM 患者的并发症管理中,起到了重要作用,Fumagalli 等<sup>[36]</sup>通过对诊断为 HCM 并转诊植入心脏植入式电子设备(Cardiac implantable electronic devices,CIED)的患者。连续回顾性研究发现,在 CIED 长期监测且无房颤病史的 HCM 患者中,新发房颤或稳定窦性节律者的卒中发生率相似。无论是否合并房颤,严重的左心房扩张都是一个独立的危险因素。为 HCM 患者评估中风风险及治疗决策提供了重要的临床依据。

## 3 技术创新与突破

LTHE 的未来技术创新与突破,将主要集中在以下方向:信号采集与处理技术、设备便携性与舒适性、数据分析与算法优化,以及遥测功能带来的新可能性。

在信号采集与处理技术领域,高精度、低噪声的电极材料成为了硬件选材研发设计的主流。基于纺织品的电极技术(textile-based electrodes)已成为新兴研究热点,不仅能实现连续稳定心电信号采集,同时显著提升了佩戴舒适性<sup>[37]</sup>。光学传感器的引入为心电监测开辟了新路径,凭借其强大的抗电磁干扰能力与高灵敏度特性,可实现持久的高质量监测。

设备便携性与舒适性的提升,系未来技术创新的重要发展方向。柔性半干电极(flexible semidry electrode)的设计有效克服了传统电极的局限性,该

电极不仅能适配不同体表形态,还可在长时间监测过程中维持稳定的信号质量<sup>[38]</sup>。微型化技术与低功耗设计的融合,将使监测设备更为轻量化,适宜长期佩戴,进而提升使用者体验。

数据分析与算法优化是未来长程动态心电监测技术的核心突破点。基于机器学习与深度学习的算法,正在被广泛应用于心律失常分析等领域,其能够从海量数据中提取有价值的信息,提升诊断的准确性与效率。在配合无线传感器技术支持下实现的远程遥测功能,患者可以在医院外的各种生活场景下完成长程心电监测。通过 AI 识别预警-遥测心电上传云平台,使得患者、医生同步于第一时间掌握心电预警信息<sup>[40]</sup>。基于心电信号的血压监测技术也在不断发展,其通过分析单导联心电图信号实现无创血压估计,技术的创新改变了患者的检查模式,为心血管疾病的综合管理提供了新工具<sup>[41]</sup>。

#### 4 小结

综上所述,相较常规 24 小时动态监测,LTHE 在心律失常检测率上更具优势。连续心电监测的时长延长提升了临床诊断的精确性,更能识别潜在严重心律失常事件,从而对患者治疗决策起到不可替代的作用。该技术临床适用前景广泛,依托于人工智能辅助诊断和遥测功能,可应用于健康人群房颤筛查、隐源性缺血性卒中病因筛查、心肌梗死的早期诊断、患者不良预后及死亡风险评估、心源性晕厥病因筛查以及肥厚型心肌病患者恶性心律失常风险评估等多种临床场景,为患者提供更优的临床诊疗,从而降低患者的医疗费用和经济负担。

展望未来,LTHE 未来将朝着“硬件”更舒适、“软件”更智能的方向发展。一方面研发更人性化的可穿戴设备,另一方面依托人工智能,通过机器深度学习,实现 AI 出具报告分析并对风险事件作出预警,确保心血管疾病的诊疗更安全高效。

#### 参考文献

- [1] 国家心血管病中心. 中国心血管健康与疾病报告 2024 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2025.
- [2] Kim JY, Oh IY, Lee H, et al. The efficacy of detecting arrhythmia is higher with 7-day continuous electrocardiographic patch monitoring than with 24-h Holter monitoring [J]. *J Arrhythm*, 2023, 39(3): 422-429.
- [3] HOLTER N J. New method for heart studies: Continuous electrocardiography of active subjects over long periods is now practical [J]. *Science*, 1961, 134(3486): 1214-1220.
- [4] FEUERBORN M, TORRE M, LYONS A, et al. Real-time ambulatory ECG does not expedite care [J]. *J Am Heart Assoc*, 2024, 13(21): e036520.
- [5] REIJRINK-DE BOER M, WOLSINK I, FRENAIJ I, et al. Initial experience with a virtual atrial fibrillation clinic after pulmonary vein isolation using follow-up with photoplethysmography [J]. *Neth Heart J*, 2025, 33(3): 85-92.
- [6] ANTIKAINEN E, NJOUM H, KUDELKA J, et al. Assessing fatigue and sleep in chronic diseases using physiological signals from wearables: A pilot study [J]. *Front Physiol*, 2022, 13: 968185.
- [7] CAI X J, TAY J C K, JIANG Y L, et al. Non-invasive mid-term electrocardiogram patch monitoring is effective in detecting atrial fibrillation [J]. *J Electrocardiol*, 2023, 81: 230-236.
- [8] PAN Y N, CHEN E D, JIE S H, et al. Continuous atrial fibrillation monitoring using a wearable smartwatch: Using long-term Holter as reference [J]. *Digit Health*, 2025, 11: 20552076251314105.
- [9] SAMUEL M, VAN DER STOEL M, VAN DIJK V, et al. Real-world evaluation of the treatment yield of implantable loop recorders (ILR) in the Netherlands [J]. *Europace*, 2024, 26 (Supplement\_1): i41-i43.
- [10] KALARUS Z, SREDNIAWA B, MITREGA K, et al. Prevalence of atrial fibrillation in the 65 or over Polish population. Report of cross-sectional NOMED-AF study [J]. *Kardiol Pol*, 2023, 81(1): 14-21.
- [11] ADASURIYA G, BARSKY A, KRALJ-HANS I, et al. Remote monitoring of atrial fibrillation recurrence using mHealth technology (REMOTE-AF) [J]. *Eur Heart J Digit Health*, 2024, 5 (3): 344-355.
- [12] VAN VLIET M, AALBERTS J J J, HAMELINCK C, et al. Ambulatory atrial fibrillation detection and quantification by wristworn AI device compared to standard holter monitoring [J]. *NPJ Digit Med*, 2025, 8(1): 177.
- [13] 中华医学会心血管病学分会, 中国生物医学工程学会心律分会, 马长生, 等. 心房颤动诊断和治疗中国指南 [J]. *中华心血管病杂志*, 2023, 51(6): 572-618.
- [14] HINDRICKS G, POTPARA T, DAGRES N, et al. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(5): 373-498.
- [15] HA A C T, WIJEYSUNDERA H C, QIU F, et al. Differences in healthcare use between patients with persistent and paroxysmal atrial fibrillation undergoing catheter-based atrial fibrillation ablation: a population-based cohort study from Ontario, Canada [J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(1): e016071.

- [16] 何佩娟, 朱继文, 陈妍妍, 等. 长时间动态心电图检测老年急性缺血性脑卒中病人阵发性心房颤动的前瞻性研究[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2023, 21(7): 1311-1314.
- [17] HIMMELREICH J C, LUCASSEN W A, COUTINHO J M, et al. 14-day Holter monitoring for atrial fibrillation after ischemic stroke: The yield of guideline-recommended monitoring duration [J]. *Eur Stroke J*, 2023, 8(1): 157-167.
- [18] SVENDSEN J H, DIEDERICHSEN S Z, HØJBERG S, et al. Implantable loop recorder detection of atrial fibrillation to prevent stroke (The LOOP Study): a randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2021, 398(10310): 1507-1516.
- [19] KEMP GUDMUNSDOTTIR K, SVENNERBERG E, FRIBERG L, et al. Randomized invitation to systematic NT-proBNP and ECG screening in 75-year-olds to detect atrial fibrillation: STROKESTOP II [J]. *Circulation*, 2024, 150(23): 1837-1846.
- [20] GÜNDÜZ Z B, SERTDEMİR A L, BUYUKTERZİ Z. Scanning of paroxysmal atrial fibrillation as an etiological risk factor in patients with acute ischemic stroke: prospective study [J]. *Sao Paulo Med J*, 2022, 140(2): 182-187.
- [21] CIGDEM I, ZEKERIYA D, BESTE O, et al. Is there any difference in mortality rates of atrial fibrillation detected before or after ischemic stroke? [J]. *Ideggyogy Sz*, 2023, 76 (11/12): 365-371.
- [22] AVILA C O. Novel use of apple watch 4 to obtain 3-lead electrocardiogram and detect cardiac ischemia [J]. *Perm J*, 2019, 23: 19-025.
- [23] MUHLESTEIN J B, ANDERSON J L, BETHEA C F, et al. Feasibility of combining serial smartphone single-lead electrocardiograms for the diagnosis of ST-elevation myocardial infarction [J]. *Am Heart J*, 2020, 221: 125-135.
- [24] 沈娟, 陈韬, 赖杰伟, 等. 12 导联穿戴心电设备在院前诊断急性 ST 段抬高型心肌梗死中的应用 [J]. 南方医科大学学报, 2022, 42(10): 1566-1571.
- [25] ZHANG K, WANG P, WU L L, et al. A soft patch for dynamic myocardial infarction monitoring [J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2025, 17(11): 16479-16488.
- [26] KWON J M, KIM K H, JEON K H, et al. Artificial intelligence algorithm for predicting cardiac arrest using electrocardiography [J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2020, 28(1): 98.
- [27] KENET A L, PEMMARAJU R, GHATE S, et al. A pilot study to predict cardiac arrest in the pediatric intensive care unit [J]. *Resuscitation*, 2023, 185: 109740.
- [28] VERRIER R L, VARMA N, NEARING B D. Continuous multi-day tracking of post-myocardial infarction recovery of cardiac electrical stability and autonomic tone using electrocardiogram patch monitors [J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2023, 28(1): e13035.
- [29] LIN C S, LIU W T, TSAI D J, et al. AI-enabled electrocardiography alert intervention and all-cause mortality: a pragmatic randomized clinical trial [J]. *Nat Med*, 2024, 30(5): 1461-1470.
- [30] KIM H A, LEE H, PARK H S, et al. Wearable ECG patch monitoring for 72 h is comparable to conventional Holter monitoring for 24 h to detect cardiogenic Vertigo [J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 7744.
- [31] GOMEZ S E, LARSON J, HLATKY M A, et al. Prevalence of frequent premature ventricular contractions and nonsustained ventricular tachycardia in older women screened for atrial fibrillation in the Women's Health Initiative [J]. *Heart Rhythm*, 2024, 21(8): 1280-1288.
- [32] MUELLER-LEISSE J, HILLMANN H A K, ISERLOH L, et al. Diagnostic yield and clinical implications of implantable loop recorders in patients with Syncope in Germany: a national database analysis [J]. *J Clin Med*, 2024, 13(6): 1564.
- [33] 国家心血管病中心心肌病专科联盟、中国医疗保健国际交流促进会心血管病精准医学分会“中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南”专家组. 中国成人肥厚型心肌病诊断与治疗指南 2023[J]. 中国分子心脏病学杂志, 2023, 23(1): 5115-5149.
- [34] ROWIN E J, DAS G, MADIAS C, et al. Extended ambulatory ECG monitoring enhances identification of higher-risk ventricular tachyarrhythmias in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Heart Rhythm*, 2025, 22(7): 1696-1704.
- [35] DAVIES B, FORMAN J, MCILROY C, et al. Patient experiences of implantable cardiac Monitoring in hypertrophic cardiomyopathy: an exploratory study [J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2023, 22(8): 780-785.
- [36] FUMAGALLI C, BONANNI F, BELTRAMI M, et al. Incidence of stroke in patients with hypertrophic cardiomyopathy in stable sinus rhythm during long-term monitoring [J]. *Int J Cardiol*, 2023, 381:70-75.
- [37] MEHTA S, CHOUDHARY I, SINGAL P, et al. Textile-based electrodes for long-term electrocardiogram monitoring [J]. *J Mater Sci Mater Electron*, 2025, 36(15):897.
- [38] LIU J C, LIU K Z, PAN X L, et al. A flexible semidry electrode for long-term, high-quality electrocardiogram monitoring [J]. *Adv Compos Hybrid Mater*, 2022,6(1): 13.
- [39] GILON C, GRÉGOIRE J M, MATHIEU M, et al. IRIDIA-AF, a large paroxysmal atrial fibrillation long-term electrocardiogram monitoring database [J]. *Sci Data*, 2023, 10(1): 714.
- [40] MITREGA K, SREDNIAWA B, SOKAL A Y H, et al. The effectiveness of atrial fibrillation identification using noninvasive long-term electrocardiographic monitoring system (NOMED-AF TECH) [J]. *Pol Arch Intern Med*, 2023, 133(7/8): 16450.
- [41] FAN X M, WANG H L, XU F, et al. Homecare-oriented intelligent long-term monitoring of blood pressure using electrocardiogram signals [J]. *IEEE Trans Ind Inform*, 2020, 16 (11): 7150-7158.

(收稿日期:2025-08-01)