

可穿戴心电监测设备抗运动干扰技术对比研究

孔庆俊

北京德益达美医疗科技有限公司 北京

【摘要】可穿戴心电监测设备在健康管理中的应用逐渐增多，但在运动状态下，设备的心电信号常受到运动伪影的干扰，影响数据的准确性与可靠性。针对这一问题，本文对抗运动干扰技术进行了详细的对比研究，评估了不同抗干扰技术在运动环境中的表现。基于信号处理、传感器优化以及算法改进等多种手段的技术方案能够有效减少运动伪影，提高心电信号的质量。本文对比了多种技术的优缺点，并提出了适用于不同运动场景的优化策略，为未来心电监测设备的研发提供了参考。

【关键词】可穿戴设备；心电监测；抗运动干扰；信号处理；运动伪影

【收稿日期】2025 年 7 月 17 日 **【出刊日期】**2025 年 8 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250159

Comparative study on anti-motion interference technologies for wearable ECG monitoring devices

Qingjun Kong

Beijing Delta Medical Science & Technology Corp. Ltd., Beijing

【Abstract】Wearable ECG (Electrocardiogram) monitoring devices are increasingly applied in health management. However, under motion conditions, the ECG signals of these devices are often disturbed by motion artifacts, which impairs the accuracy and reliability of the data. To address this issue, this paper conducts a detailed comparative study on anti-motion interference technologies and evaluates the performance of different anti-interference technologies in motion environments. Technical solutions based on various methods such as signal processing, sensor optimization, and algorithm improvement can effectively reduce motion artifacts and enhance the quality of ECG signals. This paper compares the advantages and disadvantages of multiple technologies and proposes optimization strategies suitable for different motion scenarios, providing references for the research and development of ECG monitoring devices in the future.

【Keywords】Wearable devices; ECG monitoring; Anti-motion interference; Signal processing; Motion artifacts

引言

心电监测设备在日常健康监控中发挥着越来越重要的作用，尤其是在运动健康管理领域。传统心电监测设备在运动过程中容易受到运动伪影的影响，导致心电信号的失真，严重影响数据分析的准确性。这一问题在运动员训练监控、老年人健康管理等场景中尤为突出。近年来，随着可穿戴设备技术的发展，针对运动干扰的抗干扰技术也取得了显著进展。这些技术通过优化传感器设计、引入先进的信号处理方法以及融合人工智能算法，为改善运动状态下的心电信号质量提供了新的思路。尽管现有技术已经有一定成效，但仍然存在优化空间。深入研究并

对比不同抗运动干扰技术的性能，对于提高设备在实际运动中的可靠性和应用广泛性具有重要意义。

1 运动伪影对可穿戴心电监测设备的影响

可穿戴心电监测设备在日常健康管理和运动监测中有着广泛的应用，但由于运动过程中人体的动作和姿势变化，设备采集到的心电信号常常受到运动伪影的影响。运动伪影是指在运动过程中，身体运动或肌肉活动引发的信号干扰，导致心电图数据的失真。运动伪影的影响通常表现为电极接触不稳定、噪声增加以及低频干扰等，这些伪影使得心电图信号的真实波形受到严重影响，进而影响到心电监测的准确性和有效性。

运动伪影的主要来源之一是肌肉活动所产生的电信号。在身体运动时,肌肉的电生理活动会产生电位波动,这些电位波动不仅频率范围与心电信号相近,而且幅度较大,容易与心电信号重叠,造成信号干扰。尤其在进行了高强度或剧烈运动时,肌肉的电活动更加活跃,产生的电位波动幅度也显著增加,这使得伪影的影响更加明显,进而影响心电信号的准确性和清晰度。在运动过程中,皮肤与电极之间的接触常常不稳定,导致电极信号的采集质量下降。尤其在佩戴不够紧密的设备时,电极与皮肤的接触容易出现滑动或松动,造成信号不稳定,增加了噪声,进一步加剧了伪影问题,降低了心电监测的有效性。

不同的运动方式对心电信号的干扰程度存在显著差异。在静态运动状态下,如瑜伽或太极,身体的运动幅度较小,整体姿势变化平缓,运动伪影的产生相对较少,因此传统的心电信号处理方法能够较好地应对这些情况下的干扰。此时,信号较为稳定,主要受到呼吸、体位变化等小幅度因素的影响^[1]。在剧烈运动中,如跑步、跳跃或快速转动等,由于身体的剧烈震动和加速度,肌肉活动的电信号与运动伪影会显著增加。加之电极与皮肤接触的不稳定性,导致信号的失真更为严重。这不仅影响心电信号的清晰度,还可能干扰心率变异性分析和心电事件的准确检测,导致错误的诊断和分析结果。运动伪影的存在对现有可穿戴心电监测设备的实用性构成了巨大挑战,迫切需要开发更加高效、精准的抗干扰技术。

2 常见抗运动干扰技术的分类与原理

抗运动干扰技术主要通过优化心电信号的采集、处理和分析过程,减少运动伪影对心电数据的影响。常见的抗运动干扰技术可以分为信号处理技术、传感器优化技术和算法改进技术三大类。每种技术都有其特定的应用场景和优势。信号处理技术主要依赖于信号去噪、滤波和特征提取等方法来清除运动伪影。传统的滤波方法如低通滤波、高通滤波和带通滤波,能够有效地去除高频噪声和低频干扰,改善信号的清晰度。单一滤波方法无法完全消除所有的运动伪影,复合滤波技术和时频分析方法逐渐成为研究的热点。小波变换和经验模态分解(EMD)方法,能够根据信号的时频特征进行多尺度的分析和去噪,较好地保留了心电信号的有效信息,同时去除了运动伪影。

传感器优化技术通过改进电极设计和信号采集

方式来增强信号的稳定性和抗干扰能力。采用多通道电极阵列或者表面电极阵列技术,能够提高心电信号采集的准确性,减少单一电极所产生的接触不良问题。传感器与皮肤之间的接触方式也有助于减少运动伪影的影响,例如采用柔性传感器材料和更贴合皮肤的设计,能够减少电极与皮肤接触时产生的摩擦和滑动,从而提高信号的稳定性^[2-6]。算法改进技术则通过在信号分析过程中引入高级算法,如机器学习、深度学习和自适应滤波技术,来更精确地识别和去除运动伪影。通过建立模型来分析不同类型的运动伪影特征,算法可以智能地分离心电信号和运动伪影,提高心电数据的准确性。深度学习方法的引入能够自动从大量数据中提取潜在的运动伪影特征,进一步提升抗干扰性能。

3 抗干扰技术在不同运动状态下的性能对比

不同的运动状态对心电信号的干扰程度差异显著,抗运动干扰技术的效果也因此表现出明显的差异。在低强度运动状态下,如慢跑或步行,身体的运动幅度较小,导致运动伪影相对较少,此时传统的滤波方法如低通滤波和高通滤波通常能够有效去除大部分干扰信号。这类方法能有效消除高频噪声及低频干扰,保留心电信号中的有用信息。在这种情况下,传统的信号处理技术足以满足抗干扰的需求。当运动强度增大,尤其是在剧烈运动时,肌肉活动引发的电信号干扰和电极接触的不稳定性问题变得更加突出,这时单一的滤波方法就难以应对复杂的伪影问题,亟需更为复杂和多样化的抗干扰技术。

在低强度运动状态下,常见的信号去噪方法,如传统滤波和小波变换,能够有效地去除运动伪影并保持心电信号的有效信息。这些方法能够根据信号的频率特征和时域变化,通过滤波处理有效减少背景噪声,同时保留心电波形中的关键特征,如P波、QRS波及T波。随着运动强度的增加,尤其是进行高强度运动时,肌肉的电活动产生的伪影会变得更加显著,传统滤波方法的去噪效果逐渐减弱,不能完全去除伪影。这时,深度学习算法展示出了更强的能力,它能通过大量数据训练识别不同运动状态下的伪影,并在复杂的运动干扰下仍能精确提取心电信号的有效成分,从而有效提高信号的准确性。

传感器设计的创新对抗干扰效果的提升也起到了至关重要的作用。传统的硬质电极在高强度运动时往往由于与皮肤的接触不稳定,导致信号采集不

准确,进而增大了伪影的影响。而柔性传感器材料可以更好地适应皮肤的表面形态,减少因运动引起的电极位置变化和接触不良问题,从而大大降低了运动伪影的影响,特别是在剧烈运动下,能够保持较高的信号稳定性^[7]。随着传感器技术的不断进步,新型的集成传感器阵列和表面电极阵列在提高抗干扰能力方面表现出了显著优势。这些传感器设计能够通过多个采集点分散干扰源,减少单个电极接触不良引发的伪影问题,进而提高心电监测的准确性和可靠性。

4 优化策略与未来发展方向

为了提高可穿戴心电监测设备在运动状态下的抗干扰能力,未来的优化策略不仅需要硬件设计方面创新,还应综合考虑软件处理能力的提升。传感器硬件的改进是提升抗干扰能力的关键。柔性电极材料的应用,能够更加紧密地与皮肤贴合,从而减少因接触不良产生的运动伪影。随着材料科技的发展,柔性电极能够适应更大范围的运动,减少了运动过程中电极滑动和摩擦引起的干扰。设计多通道电极阵列能够通过多个采样点对心电信号进行捕捉,有效分散运动伪影的影响,提高数据的准确性。传感器阵列的布局也能通过采集多个信号通道,减少局部干扰对整体信号的影响,进一步提高监测设备在动态环境中的可靠性。

在软件方面,深度学习和机器学习算法为抗运动干扰技术提供了强大的支持。通过大数据分析和模式识别,机器学习算法能够自动学习和适应不同运动环境下的干扰特征,从而精准地分离运动伪影和有效信号。这一技术能够根据心电信号的特征,自动调整处理方式,提升了实时处理的能力。自适应滤波技术的应用,使得设备能够根据不同运动强度调整滤波参数,达到最佳的信号处理效果。结合深度学习与自适应滤波,设备可以在动态的运动环境中实现智能化信号处理,大大提高了抗干扰的精确度和稳定性,确保心电信号的有效性。

运动状态识别技术的引入可为抗干扰技术提供更多智能化支持。通过实时识别用户的运动类型、强度和动作模式,设备能够自动切换不同的信号处理策略,确保在不同运动状态下依然能够高效地去除伪影^[8]。在剧烈运动时,设备可以自动启动基于深度学习的算法,对复杂的运动伪影进行处理,而在低强度运动时,可以启用更为简单和高效的滤波方

法,减少计算负担并提升实时性。运动状态识别技术不仅提高了信号处理的效率,还优化了设备的功耗管理,确保了心电监测的持续性和可靠性。通过这种动态调节,设备能够在不同环境下保持高水平的抗干扰能力,进一步提升用户体验。

5 结语

运动伪影对可穿戴心电监测设备的影响显著,尤其是在高强度运动和剧烈运动中,伪影的干扰更加严重。随着运动强度的增加,肌肉电活动和电极接触的不稳定性加剧,进一步影响心电信号的质量。为了提升可穿戴设备在运动状态下的准确性和可靠性,必须开发更为先进的抗干扰技术。这些技术不仅需要硬件设计上优化传感器材料和结构,还需要在软件上运用更智能的信号处理方法,如深度学习和自适应滤波。未来,针对不同运动状态的动态调整和优化策略将成为提升心电监测设备性能的关键,推动其在更多运动场景中的应用。

参考文献

- [1] 龙子鸣,徐建,肖霖怡,等.基于蓝牙可穿戴式心电监测系统的设计[J].物联网技术,2025,15(03):27-30.
- [2] 孙常青,牛明真,毛俊嫒.可穿戴设备在心电监测中的应用[J].厦门科技,2024,30(06):49-52.
- [3] 王银坤,尹章轩,孙致远.基于单片机的可穿戴智能车载动态心电监测预警系统设计[J].仪表技术,2024,(06):33-35+40.
- [4] 史立宇.基于可穿戴设备的活动识别和心电监测算法研究[D].江南大学,2024.
- [5] 梁家浩.可穿戴式心电监测设备结合AI在心房颤动早期诊断中的临床应用研究[D].川北医学院,2024.
- [6] 陆琨,张松文,储建军,等.可穿戴心电监测设备的临床应用及评价[J].实用心电学杂志,2023,32(06):430-434+438.
- [7] 樊树杉.基于 TAM 的可穿戴心电监测产品情感化设计方法研究[D].华东理工大学,2023.
- [8] 穆驭新.可穿戴心电监测应用软件 APP 及其隐私数据安全研究[D].天津工业大学,2023.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS