

可穿戴设备在肌少症中的应用范围综述

穆茂容, 王健翔, 殷小焦, 高云*

昆明医科大学附属甘美医院神经外科, 云南 昆明

收稿日期: 2025年2月19日; 录用日期: 2025年3月12日; 发布日期: 2025年3月20日

摘要

目的: 文章综述了可穿戴设备在肌少症中的应用, 包括步态分析、肌电图(EMG)传感器和多传感器融合技术等, 探讨了其在日常活动监测、个性化康复训练和远程医疗中的具体应用。方法: 系统检索中国知网、万方、维普、SinoMed、PubMed、Web of Science等国内外数据库, 检索时间为建库至2025年1月, 收集可穿戴设备在肌少症应用中的相关研究。结果: 可穿戴设备通过嵌入式传感器和计算技术, 能够实时监测和评估肌肉质量、功能及活动水平, 为肌少症的检测、管理和干预提供了新的解决方案。结论: 尽管可穿戴设备在数据准确性、设备舒适性和用户依从性等方面仍面临挑战, 但随着技术的进步, 其在肌少症管理中的应用前景广阔。

关键词

肌少症, 可穿戴设备, 传感器融合, 个性化康复, 老年人健康

A Review of the Application Scope of Wearable Devices in Sarcopenia

Maorong Mu, Jianxiang Wang, Xiaojiao Yin, Yun Gao*

Department of Neurosurgery, Ganmei Hospital Affiliated to Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: Feb. 19th, 2025; accepted: Mar. 12th, 2025; published: Mar. 20th, 2025

Abstract

Objective: This article reviews the application of wearable devices in sarcopenia, including gait analysis, electromyography (EMG) sensors, and multi-sensor fusion technology, and discusses their specific applications in daily activity monitoring, personalized rehabilitation training, and telemedicine. **Methods:** The system retrieved relevant studies on the application of wearable devices in sarcopenia from domestic and foreign databases such as CNKI, Wanfang, VIP, SinoMed, PubMed, and

*通讯作者。

文章引用: 穆茂容, 王健翔, 殷小焦, 高云. 可穿戴设备在肌少症中的应用范围综述[J]. 临床医学进展, 2025, 15(3): 1911-1919. DOI: 10.12677/acm.2025.153820

Web of Science. The retrieval time spanned from the establishment of the databases to January 2025. Results: Wearable devices, through embedded sensors and computing technology, can monitor and assess muscle mass, function, and activity levels in real time, providing new solutions for the detection, management, and intervention of sarcopenia. Conclusion: Although wearable devices still face challenges in terms of data accuracy, device comfort, and user compliance, their application in the management of sarcopenia is promising as technology advances.

Keywords

Sarcopenia, Wearable Devices, Sensor Fusion, Personalized Rehabilitation, Elderly Health

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

肌少症(Sarcopenia)是一种与年龄有关的肌肉质量和肌肉功能减退,以全身无力、行走困难、跌倒、缓慢的步态和纤细的四肢为临床表现的老年综合征。有研究显示,骨骼肌肉的质量和肌肉力量会随着年龄的增长而以每年1%~2%的速度流失[1][2],这不仅会增加病人跌倒、骨折和躯体功能障碍的几率,而且对病人的生活质量、独立生活能力和寿命都会造成严重的影响。肌少症的发病率随着中国老龄化进程的不断加快而逐年增加。研究显示,亚洲人患肌少症的比例为5.5%~25.7%,而中国社区老人的比例为8.9%~38.8%,明显高于其他国家[3]。这可能是因为肌少症的症状初期往往较为隐匿,多被认为是衰老现象;其次,与肌少症缺乏特异性的诊断指标和认知度普遍较低有关。统计数据显示,肌少症对公共卫生的影响显著,尤其是在老年人中,增加了住院率、康复费用和护理费用。据估计,在美国,肌少症在2000年的直接医疗费用高达185亿美元,在总医疗支出中所占比例为1.5% [4]。因此,早期诊断和识别肌肉群的变化至关重要,不仅有利于老人制定个性化的康复和锻炼计划,而且能够使医疗资源更好地分配和利用,降低后续治疗的费用和难度。针对肌肉减少及相关因素实时监测的智能可穿戴设备具有重要的价值。

2021年,国务院发布《关于促进公立医院优质发展的意见》,明确提出借助人工智能的力量,与医疗相结合[5]。随着人工智能的发展,针对肌肉的可穿戴设备已经发展出很多种,比如肌电图设备、加速度计和陀螺仪、生物电阻抗分析(BIA)。可穿戴设备是指通过嵌入式传感器和计算技术,实现数据采集、分析和反馈的便携式电子设备。常见的可穿戴设备类型包括能监测心率、步数、睡眠质量等多种生理参数的智能手表、健身追踪器、智能衣物等。医疗领域可穿戴设备应用潜力巨大[6]。例如,通过智能手表和健身追踪器,用户可以实时监测心率、血压和活动水平,从而早期发现健康问题并进行干预。此外,智能衣物配备的肌电图(EMG)传感器可以实时监测肌肉活动,对于肌少症的检测和管理具有重要意义。研究表明,穿戴式设备在老人康复、管理慢病、远程监护等方面都有显著的效果[7]。

2. 可穿戴设备在肌少症检测中的应用

2.1. EMG 传感器的比较

表面 EMG(sEMG): 表面 EMG 是最常见的肌电图传感器,适用于非侵入性监测肌肉活动。其优点是易于佩戴,适合长期监测,但缺点是信号容易受到皮肤阻抗、脂肪层厚度等因素的影响,导致信号噪声

较大。尽管表面肌电图(sEMG)技术仍存在一定局限性,但国内外研究者持续致力于该技术的优化与改进,以推动其发展成熟[8]。随着检测设备性能的提高和评估方法的改进, sEMG 在针刺电生理学研究领域的应用前景广阔。特别是在探究针刺干预对脑卒中患者肢体功能障碍的作用机制,以及促进针刺手法临床规范化应用等方面, sEMG 将发挥更加重要且客观的评估作用。

针式 EMG: 针式 EMG 应用于临床诊断和研究,通过插入肌肉内部电极获得更精确的肌肉电活动信号。优点是信号质量较高,缺点是侵入性较强,不宜长期监控,可能会造成病人的身体不适。此外,针式 EMG 对操作技术要求较高,为保证电极定位准确,避免对肌肉组织造成不必要的损伤,需要专业人员具备丰富的解剖学知识和操作经验。虽然其侵入性限制了在某些特定人群(如儿童、凝血功能障碍患者)中的应用,但针式 EMG 在神经肌肉疾病的诊断中仍具有不可替代的优势,特别是在运动单位电位(MUAP)的形态、时程、振幅的评估上,针式 EMG 更是如此[9]。未来随着微创技术的发展和电极材料的改进,针式 EMG 有望进一步提高信号采集的精确性和稳定性,从而扩大其在临床和科研中的应用范围,同时减轻患者的不适感。

无线 EMG 感应器: 无线 EMG 感应器将数据以无线方式传输,适用于锻炼身体或日常活动。优点是灵活性较高,缺点是续航时间可能会受到影响,信号稳定性也会受到影响。此外,无线 EMG 传感器还面临着实际应用中可能进一步降低信号质量的环境干扰(如电磁杂讯和运动伪影)的挑战。尽管如此,无线 EMG 传感器的性能也在随着无线通讯技术的进步和低功耗设计的发展而逐渐增强。例如,新的传感器采用了更高效的信号滤波算法和自适应噪声抑制技术,从而增强了信号的抗干扰能力。同时,在一定程度上缓解了续航问题的还有能量收集技术的应用以及可充电电池。未来,无线 EMG 传感器有望为实时监控肌肉活动和运动功能提供更便捷可靠的解决方案,在康复医学、运动科学和可穿戴设备等领域发挥更大的作用[10]。

通过借助各种传感器技术,可以实时检测、评定肌少症病人的肌肉品质及肌肉功能的实时性,从而达到装备佩戴的目的。如:加速计能监视步态改变及活动层次,从而对其肌肉力量及协调一致起到一定的评估作用。研究表明肌少症的患者可以通过步态分析与健康个体进行有效的区隔。肌电图(EMG) Sensor 能对肌肉的电活动进行实时监测,并对肌肉的机能、力量进行评估。研究工作者能够将 EMG Sensor 嵌于智能服装中,实时采集肌肉活动数据,协助大夫及病人了解肌肉机能变化,制定个性化康复[11]。此外,配合加速度计、陀螺仪和 EMG 传感器的数据,采用多传感器融合技术,能够提供更全面、更精准的肌肉缺失检测与评价[12]。以下是一些具体的应用实例: 1) 步态分析: 加速度计和陀螺仪可以用来监测步态变化和运动水平,使用方法是嵌入鞋子或者绑在脚踝上。加速计可以捕捉步态的动态特征,如步长、步频等,测量设备在三维空间中的加速度变化。而陀螺仪测量设备角速度的信息,比如步态稳定、姿态等。这些数据可以对肌肉力量和协调性进行综合评估,从而对早期的肌少症征兆进行鉴别[13]。 2) 肌电图传感器(EMG): 通过检测肌肉纤维在收缩时产生的电信号,评估肌肉活动状况。智能衣物中通常会嵌入这些传感器,能够对肌肉的电活动进行实时捕捉。肌肉神经活动和肌肉力量的改变都是通过这些电信号反映出来的。肌电图传感器的原理是将这些信号转换成数字数据进行分析,通过电极探测到肌肉表面产生的电流变化。这些数据有助于了解肌肉的功能状态,并可用于个性化的康复方案的制定[14]。 3) Multi-Sensor 融合技术: Multi-Sensor 融合技术将来自不同传感器的数据组合在一起,从而提供对肌少症更全面、更精准的检测。综合评估肌肉的动态特性、步态稳定性和肌肉电活动,通过整合加速度计、陀螺仪和 EMG 传感器的数据。数据融合的基本原理是通过算法将不同传感器收集到的数据进行整合,从而得出综合健康评价(Health Review)。这一技术的主要特点是它能够弥补单一传感器可能存在的局限性,提高检测的准确性和全面性。举例来说,一条集多种感应器于一身的智能皮带,能够同时对步态、姿态、肌肉活动等进行监测,从而为肌肉健康提供更为详尽的资讯[15]。

综上所述, 身体佩戴传感器技术不仅有助于在步态实验室之外、充足的步行距离、不同的鞋子状况、不同的行走表面以及在更好地模仿受试者活动的真实环境中评估步态, 而且这些技术的应用使得可穿戴设备能够在肌少症的早期检测和管理中发挥重要作用, 为医生和患者提供有价值的技术支持。

2.2. 传感器放置位置的比较

上肢传感器: 一般用上肢传感器来监测适合上肢肌少症检测和康复训练的手臂与肩部的肌肉活动情况。优点是资料收集方便, 缺点是下肢肌肉的状态很难体现出来。此外, 通常针对特定肌群的解剖结构和运动特性进行优化的上肢感应器设计, 使其在捕获复杂的上肢动作时具有更高的精确度和灵敏度, 例如多关节协同动作。但是, 上肢传感器的技术参数和算法很难直接迁移到下肢监测场景, 因为上肢和下肢在生物力学和运动方式上存在显著差异。未来的研究可以探索多模态传感器的开发, 实现全身肌肉活动的同步评估, 通过对上肢和下肢进行整合监测功能。同时, 传感器数据的深度分析与人工智能算法相结合, 有望进一步提升上肢传感器在肌少症早期诊断和个性化康复方案制定上的应用价值[16]。

下肢传感器: 下肢感应器常置于腿部或踝部, 适用于对下肢的步态及肌肉活动的监测。优点是对下肢肌肉功能有全面的评估, 缺点是不方便佩戴, 对日常活动可能会产生影响。此外, 下肢传感器还需要克服实际应用中出现信号漂移、环境干扰等问题, 特别是传感器的稳定性和准确性可能会在复杂地形或高强度运动条件下受到一定程度的影响。近年来, 研究人员通过对传感器材料的改进、固定方式的优化和轻量化设计的开发, 使佩戴舒适性和用户体验逐步提高。同时, 结合机器学习算法, 实时分析校正传感器数据, 进一步提高了监测结果的可靠性[17]。未来, 随着柔性电子技术和无线传输技术的进步, 下肢传感器有望为下肢功能障碍的评估和干预提供更精准便捷的工具, 在临床康复、运动科学和智能假肢控制等领域发挥更大的作用。

躯干传感器: 躯干传感器能够监测适合评估肌肉整体协调性的核心肌群的活动情况。它的优点是可提供全身肌肉活动的全面信息, 但缺点是复杂的数据解读以及需要综合分析的其他传感器数据。另外, 传感器的信号可能会受到相邻肌群活动的干扰, 从而增加数据分离和解析的难度, 因为躯干区域的肌肉结构复杂, 运动方式多样。为了提高数据解读的准确性, 研究者通常会结合躯干传感器和生物力学模型, 将核心肌群的活动特征量化分析, 利用多通道信号处理技术和模式识别算法。同时, 更全面地评估全身运动链的协同效应, 并结合下肢和上肢传感器的数据。躯干传感器未来有望在运动康复、姿势控制和运动表现优化等领域发挥更加重要的作用, 随着人工智能技术的进一步发展, 躯干传感器将为个性化训练方案的制定提供科学依据[18]。

2.3. 多感应器集成技术的局限性

数据同步问题: 数据采集频率和时间戳在不同传感器上可能不一致, 造成数据融合时的误差。未来可以通过改进算法来解决数据同步问题。

计算复杂度: 多传感器融合技术需要处理大量数据, 计算复杂度较高, 可能影响实时性。未来的数据处理效率可以通过算法和硬件的优化来提升。

3. 可穿戴设备在肌少症管理和干预中的应用

3.1. 穿戴式器械对肌少症的管理作用

在管理和干预肌少症方面, 可穿戴装备起到了必不可少的功效。借助这类装备可以对肌少症病人每天的赛事情况进行监视, 并能做到心中有数, 及时得到反馈资料。如: **Smart Arduino** 可以对睡眠质量、运动时长及能量的消耗进行监视, 以达到帮助病人对自己活动情况的综合认识, 并将常规运动规划按照

相应的规律进行安排[19]。通过佩戴专门的肌电传感器,可以准确地捕捉到病人肌肉收缩时所产生的电信号,并且利用设备对训练进度进行实时跟踪,医生据此为病人量体裁衣地制定个性化的康复训练方案。这种因人而异的管理方法,可以显著提升康复效果,有效地避免了肌少症病人功能进一步衰退的现象[20]。而且,对于医疗方面的远程监控,穿戴式设备也十分方便,就算是病人在家也可以得到跟在医院一样的专业医疗关怀。这一举措不仅减轻了患者频繁往返医院的负担,而且在提高医疗资源利用效率的同时,也让医疗服务变得更加高效、便捷和个性化。

3.2. 日常活动检查及远程医疗的具体实例

以下是具体的日常活动检查和远程医疗实例:1) 日常活动监测与反馈:智能手环、手表等穿戴设备可以对用户的日常活动进行全方位的监测,包括步数、运动强度、睡眠质量等,对用户的日常活动进行全面监测。例如,Fitbit 和 Apple Watch 等设备可以跟踪用户的步数、睡眠质量和活动强度,并提供关于运动时间和能量消耗的详细数据[9]。这些数据有助于患者了解自己每天的活动水平,并根据设备的反馈调整锻炼计划。一项研究发现[4],使用 Fitbit 的老年人群体在步数和活动时间上有显著增加,这种增加有助于维持和改善肌肉健康[16]。2) 个性化康复训练:医生据此为患者量身定制个性化的康复训练方案,利用设备实时追踪训练进度,精准捕捉患者肌肉收缩时产生的电信号,通过佩戴专门的肌电感应器即可实现,从而调整训练策略,增强康复效果。此外,智能手表通常还配备了能够实时追踪心率变化的心率监测功能,帮助患者避免过度锻炼或过度疲劳,保证适宜的锻炼强度,避免给肌肉带来额外的负担[21]。医生根据数据分析结果,结合心率监测,循序渐进地增加每天的步数,保证运动强度适中,为患者制定了个性化的行走计划。病人的肌肉力量和步态稳定性在干预 3 个月后有明显的提高。通过佩戴智能服装,搭配肌电图(EMG)传感器,患者可实时获取肌肉活动数据。这些数据对医生制定个性化康复训练方案有一定帮助。例如,在智能短衣中嵌入的 EMG 传感器,能对腿部肌肉的活动进行监测,并能将肌肉的劳动强度及劳动状态实时反映出来。医师可根据这些资料针对性制定训练计划,以增强肌肉力量及机能,指导病人进行具体的肌肉锻炼。患者还可以通过仪器反馈来了解自己的训练进度,从而调整训练策略以提升康复效果。经过 6 个月的训练,病人的下肢肌肉力量得到了显著的改善,步态的稳定性也得到了显著的增强[22]。3) 远程医疗及远距离监控:为病人在家得到专业医疗关怀提供了方便。如:Care Predict 的 Tempo 传感器可以通过无线网络向医生传输数据,对老年人的活动模式、饮食习惯、睡眠质量等进行监测,使医生能及时调整治疗方案,并提供网上咨询,以及支持远程查看资料。这种远程监控模式在降低病人往返医院频繁负担的同时,也促进医疗服务更加高效、便捷、个性化,提高了医疗资源的利用效率。研究显示,病人的肌肉质量和生活质量都有了明显的提高,而且这种远程监测能使病人的依从性、健康结局得到明显的改善[23]。

这些穿戴式的装置既提供了综合实时数据监控,又使肌少症的管理效果有了明显的改善,通过个性化的反馈、远程的医疗服务等手段。使病人对自身健康状况有较好的认识,对生活方式进行调整,从而使肌少症的整体康复效果和生活质量得到有效的管理和干预。

4. 研究进展及发现可穿戴式器件用于肌少症

4.1. 早期诊断与筛查

肌肉质量与功能的量化评估:通过监测肌肉力量、耐力及日常活动中的功能状态,可穿戴设备为辅助肌少症早期的诊断提供了客观的量化资料。如惯性测量单元(IMU)感应器,捕捉出与肌肉功能下降密切相关的步态参数(如步速、步长、步频等)。

肌肉电活动监测:表面肌电图(Surface Grain, SEMG)可实时监测肌肉电活动,帮助识别肌功能异常。

研究发现，肌少症病人的肌肉活化方式与卫生人群有明显差别，为早筛提供了重要依据。

4.2. 病情监测与进展评估

长期动态监测：可穿戴设备能够为肌少症的病情进展提供动态监测，连续记录病人每天的活动资料(如：步数、活动强度及能量的消耗)。研究显示，肌少症患者比身体健康的人的活动量要少得多，而且改变的活动方式和肌肉机能的下滑是正相关的。

肌肉疲劳评估：可穿戴设备通过对肌肉活动频率及幅度变化的监测来评定肌肉的疲劳程度。有研究发现，肌少症病人肌肉疲劳较快，恢复能力差，为病情评价提供新视角。

4.3. 康复干预与效果评估

个性化康复方案：研究人员可根据穿戴式装置收集的资料制定出符合要求的个性化康复训练计划。如：为使康复效果得到优化，通过对肌肉活动和运动表现实时监测、调整训练强度和频率等。

康复效果量化评估：可穿戴设备能够客观地将肌肉功能在康复训练前、后的变化记录下来，从而量化地评估康复后的效果。研究发现，肌少症患者的肌肉力量和功能状态可以通过穿戴式设备的康复干预得到明显改善。

4.4. 机制研究与新发现

肌肉-骨骼相互作用：可穿戴设备通过同步监测肌肉活动和关节运动，揭示了肌少症患者肌肉-骨骼相互作用的异常模式。例如，研究发现肌少症患者的肌肉激活时序与关节运动不协调，这可能是导致跌倒风险增加的重要原因。

神经肌肉控制机制：通过结合 sEMG 和 IMU 数据，研究者能够深入分析肌少症患者的神经肌肉控制机制。研究发现，肌少症患者的神经驱动信号减弱，且肌肉协同作用下降，这为理解肌少症的病理机制提供了新的线索。

4.5. 技术改进与未来方向

多模态传感器融合：未来的可穿戴设备将更多地采用多模态传感器融合技术，结合 sEMG、IMU 和心率监测等多种数据，提供更全面的肌肉功能评估。

人工智能与大数据分析：通过人工智能算法对海量数据进行分析，可穿戴设备能够更精准地识别肌少症的早期标志物，并预测病情进展。此外，大数据分析还可以揭示肌少症的风险因素和干预靶点。

柔性电子与无创技术：柔性电子技术的发展使得可穿戴设备更加轻便、舒适，且无创性更强，这将进一步提高患者的依从性和数据的准确性。

可穿戴设备应用于肌少症检测与管理的研究，近年来取得了令人瞩目的进展。一项研究显示[24]，老人的步态稳定性和肌肉功能可以通过加速度计和陀螺仪的使用得到有效的评估，并且与传统的临床评估手段有很高的一致性。另一项研究则对肌肉活动监测中不同类型的穿戴式设备的表现进行了比较[13]。结果显示，能实时反映肌肉功能变化的肌肉活动监测中，智能衣物中的 EMG 传感器的精确度最高。此外，研究还发现，检测和评估肌少症的精确度可以通过多种传感器数据的结合而得到显著提升。一项针对远程监控的研究显示，通过穿戴式装置，结合个性化的反馈和干预方案，实时监控病人的活动水平和生理指标，能显著改善肌少症患者的康复效果[25]。此外，穿戴式装置结合 AI 与机器学习技术，能自动分析资料，提供更智慧的健康管理，并可预知肌少症患者的复原效果[26]。在肌少症研究中应用穿戴式设备，不仅促进了早期诊断与病况监控的精准化，同时也提供了一种新的工具与方法，用于康复干预与机制研究。随着技术的不断进步，为提高患者的生活质量提供科学支持，可穿戴设备有望在预防、诊断和治疗

肌少症方面扮演更加重要的角色。

5. 可穿戴设备的挑战及未来方向

5.1. 可穿戴设备面临的挑战

虽然在肌少症管理方面，穿戴式设备有着广阔的应用前景，但它仍然面临着一些挑战：1) 数据精确性与稳定性：现有设备在数据精确性与稳定性上还有待提高。例如，步态分析中加速度计的误差可能会对评价结果产生影响[27]。2) 装备的舒适性与使用者的依从性：不少老年患者对佩戴设备的接受度较低，设备的舒适度和用户的依从性也是重要因素。未来研究应关注提高患者依从性的设备设计和用户体验[28]。3) 智能算法与多功能整合：未来的研究可以集中在提高数据分析精确性和实时性的更智能算法开发上。结合机器学习(Machine Learning)与人工智能技术(AI)，可实现多传感器数据的全面分析，提供更全面的健康评估。此外，未来发展的重要方向还包括更多功能的整合(如结合血糖监测、心电图等)以及数据私密性安全方面的保证[22]。

5.2. 可穿戴设备的未来方向

5.2.1. 结合具体应用机器学习与 AI

数据预处理：通过滤波算法去除噪音、改善信号质量等，机器学习可以用于数据预处理。具体手法有小波变换、Calman 滤镜等。

模式识别：肌少症患者的步态、肌肉活动模式通过机器学习算法(如支持向量机、随机森林等)进行分类和识别，帮助医生对病情进行更精确的诊断和评估。

个性化康复方案：基于 AI 的推荐系统能够自动生成个性化的康复训练方案，这些方案基于患者的实时数据。举例来说，通过强化学习算法，系统能够动态地根据病人的反馈对训练强度和训练时间进行调整。

5.2.2. 多功能集成的具体方向

血糖监测与肌肉健康结合：未来的可穿戴设备能够整合血糖监测功能，帮助医生特别是糖尿病相关的肌少症患者，分析血糖水平与肌肉健康的关系。

心电图与肌肉活动结合：该设备通过整合心电图监测功能，帮助医生评估心血管健康和肌肉功能之间的关联，同时对心脏和肌肉活动进行监测。

6. 结论

综上所述，在检测、管理和干预肌少症方面，可穿戴设备显示出了巨大的潜能。不同类型的传感器技术各有优劣，多传感器融合技术的优化、机器学习算法的应用以及多功能融合的实现等都是未来研究的重点。结合具体案例分析可知，穿戴式装置在提供实时健康监测的同时，也为制定个性化康复方案提供了强有力的保障。随着技术的不断进步，穿戴式设备在肌少症管理方面的应用前景将更为广阔[29]。

参考文献

- [1] Frontera, W.R., Hughes, V.A., Fielding, R.A., Fiatarone, M.A., Evans, W.J. and Roubenoff, R. (2000) Aging of Skeletal Muscle: A 12-yr Longitudinal Study. *Journal of Applied Physiology*, **88**, 1321-1326. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.4.1321>
- [2] 麻玉梅, 马黎娜, 郭海云, 等. 智能可穿戴设备在加速康复外科中的应用综述[J]. 医疗卫生装备, 2023, 44(5): 102-108.
- [3] Chen, L., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T., Chou, M., Iijima, K., *et al.* (2020) Asian Working Group for Sarcopenia:

- 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, **21**, 300-307.E2. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.12.012>
- [4] Beudart, C., Rizzoli, R., Bruyère, O., Reginster, J. and Biver, E. (2014) Sarcopenia: Burden and Challenges for Public Health. *Archives of Public Health*, **72**, Article No. 45. <https://doi.org/10.1186/2049-3258-72-45>
- [5] 国务院办公厅印发《关于推动公立医院高质量发展的意见》[J]. 中国数字医学, 2021, 16(6): 52.
- [6] Tankisi, H., Burke, D., Cui, L., de Carvalho, M., Kuwabara, S., Nandedkar, S.D., *et al.* (2020) Standards of Instrumentation of Emg. *Clinical Neurophysiology*, **131**, 243-258. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.07.025>
- [7] Stavropoulos, T.G., Papastergiou, A., Mpaltadoros, L., Nikolopoulos, S. and Kompatsiaris, I. (2020) IoT Wearable Sensors and Devices in Elderly Care: A Literature Review. *Sensors*, **20**, Article 2826. <https://doi.org/10.3390/s20102826>
- [8] 殷芮, 张雨晴, 史维霞, 等. 表面肌电在针刺治疗脑卒中肢体功能障碍中的应用研究进展[J]. 中医康复, 2024, 1(9): 6-10.
- [9] 罗志成, 田宁, 杨光, 等. 面向瘫痪肢体功能康复的无线多通道混合数据采集系统[J]. 物联网学报, 2024, 8(2): 103-115.
- [10] 郑杨, 强威, 张四聪. 脑-运动单元功能耦合估计方法[J]. 西安交通大学学报, 2024, 58(12): 111-118.
- [11] 冯玉竹, 魏剑南, 马玉鑫, 等. 基于物联网的可穿戴设备及生命体征监测系统[J]. 工业技术创新, 2023, 10(5): 106-115.
- [12] Fang, C., He, B., Wang, Y., Cao, J. and Gao, S. (2020) EMG-Centered Multisensory Based Technologies for Pattern Recognition in Rehabilitation: State of the Art and Challenges. *Biosensors*, **10**, Article 85. <https://doi.org/10.3390/bios10080085>
- [13] Tam, W., Alajlani, M. and Abd-alrazaq, A. (2023) An Exploration of Wearable Device Features Used in UK Hospital Parkinson Disease Care: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, **25**, e42950. <https://doi.org/10.2196/42950>
- [14] Argent, R., Bourke, A.K., Brom, M., Caulfield, B., Greene, B.R., Muaremi, A., *et al.* (2022) Validity and Reliability of A Body-Worn Biomechanical Sensor Platform for Gait Analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*, **30**, S148-S149. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2022.02.188>
- [15] 李楠, 徐磊, 刘丽妍, 等. 老年人健康监测可穿戴设备的应用研究[J]. 针织工业, 2022(6): 60-3.
- [16] 张敏, 王飞, 赵祥欣, 等. 基于足底力传感器的脑卒中患者下肢运动感知获取方法[J]. 机械设计与研究, 2024, 40(3): 240-244.
- [17] 陶幸, 俞帆山, 宋越杰, 等. 基于惯性传感器的免对准动作的人体上肢运动捕捉方法[J]. 飞控与探测, 2024, 7(2): 28-35.
- [18] 陈玲, 江红霞, 刘基宏. 基于可穿戴传感器的躯干参考点选取分析[J]. 丝绸, 2022, 59(4): 52-58.
- [19] 王冰飞, 蒋睿, 何思源, 等. 浅谈社区老年人对便携式可穿戴设备的需求——以智能手环为例中国老年[J]. 保健医学, 2020, 18(4): 21-6.
- [20] Yang, C. and Hsu, Y. (2010) A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring. *Sensors*, **10**, 7772-7788. <https://doi.org/10.3390/s100807772>
- [21] Benson, L.C., Räisänen, A.M., Clermont, C.A. and Ferber, R. (2022) Is This the Real Life, or Is This Just Laboratory? A Scoping Review of Imu-Based Running Gait Analysis. *Sensors*, **22**, Article 1722. <https://doi.org/10.3390/s22051722>
- [22] Roberts, L.M., Jaeger, B.C., Baptista, L.C., Harper, S.A., Gardner, A.K., Jackson, E.A., *et al.* (2019) Wearable Technology to Reduce Sedentary Behavior and CVD Risk in Older Adults: A Pilot Randomized Clinical Trial. *Clinical Interventions in Aging*, **14**, 1817-1828. <https://doi.org/10.2147/cia.s222655>
- [23] Majumder, S., Aghayi, E., Noforesti, M., Memarzadeh-Tehran, H., Mondal, T., Pang, Z., *et al.* (2017) Smart Homes for Elderly Healthcare—Recent Advances and Research Challenges. *Sensors*, **17**, Article 2496. <https://doi.org/10.3390/s17112496>
- [24] Mao, Q., Zhang, J., Yu, L., Zhao, Y., Luximon, Y. and Wang, H. (2024) Effectiveness of Sensor-Based Interventions in Improving Gait and Balance Performance in Older Adults: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, **21**, Article No. 85. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01375-0>
- [25] 季稳, 黄宽明, 陈家冲, 等. 可穿戴设备在帕金森病患者围手术期运动功能检测中的应用[J]. 中国医学工, 2024, 32(6): 5-9.
- [26] 何杨柳青, 梁芬荣, 王艺明, 等. 可穿戴设备在抑郁症监测与干预领域中的应用进展[J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48(4): 407-412.

-
- [27] Argañarás, J.G., Wong, Y.T., Begg, R. and Karmakar, N.C. (2021) State-of-the-Art Wearable Sensors and Possibilities for Radar in Fall Prevention. *Sensors*, **21**, Article 6836. <https://doi.org/10.3390/s21206836>
- [28] 林毅, 毛永, 王向东, 等. 老年运动人群可穿戴设备认知及使用行为研究[J]. *老龄科学研究*, 2023, 11(4): 34-47.
- [29] 谢美莲, 张志云, 董屿, 等. 可穿戴设备在卫生健康领域生命体征监测中的应用及展望[J]. *生物医学工程与临床*, 2024, 28(5): 735-741.