

可穿戴设备在术后康复护理实时监测中的效果分析

周 一

郑州工业应用技术学院 河南郑州 450064

摘 要: 本研究重点在于剖析可穿戴设备于术后康复护理实时监测里的应用成效,借助剖析其技术原理、临床应用当前状况、现存的问题与面临的挑战,以及改进策略和发展路径,对可穿戴设备在术后康复护理中的作用展开全面评估,研究得出,可穿戴设备可借助多种传感器来采集术后患者的生理、运动功能、行为以及环境数据,提升康复效果与依从性。然而它在技术可靠性、数据安全与隐私保护以及依从性驱动机制等方面依旧面临挑战,经由硬件与算法优化、构建合规数据生态以及提升依从性的行为干预等策略,有希望推动可穿戴设备在术后康复护理中的应用,研究结论显示,可穿戴设备有重塑术后康复范式的潜力,不过需要持续优化硬件性能、数据治理以及人文关怀。

关键词: 可穿戴设备; 术后康复; 实时监测; 依从性; 数据安全; 个性化康复

前言

随着现代医疗技术不断进步,术后康复护理的意义日益明显,术后康复关系到患者身体恢复,对于其心理以及社会功能重建也有着关键影响,传统康复护理模式大多依靠患者在医院集中进行康复训练,然而这种模式有不少局限之处,像是医疗资源分配不均衡,致使部分患者不能及时充分获得康复指导,患者依从性不高,出院后难以持续有效开展康复训练,缺少个性化康复方案,无法精准契合不同患者康复需求等。近些年来,可穿戴设备快速发展给术后康复护理带来全新解决办法,可穿戴设备借助实时监测患者生理和运动功能数据,能依照患者具体状况制定并动态调整个性化康复方案,有效提升康复效率以及患者依从性,因此,针对可穿戴设备在术后康复护理实时监测中的效果展开研究具有重要意义。

一、可穿戴设备在术后康复中的应用现状

(一) 核心概念与技术原理

可穿戴设备属于智能设备范畴,可直接佩戴于人体,或者整合到衣物以及配件之中,其在术后康复护理里的应用,主要依靠多种传感器的集成,像惯性测量单元、光学心率传感器以及表面肌电传感器等,都属于这类传感器,它们可实时采集患者的步态、关节活动度、心率变异性等数据。举例来说,智能膝关节支具借助内置的陀螺仪来监测屈伸角度,其误差率可控制在 3° 以内,这些监测指标涉及术后康复的四个维度,分别是生理指标,

像心率、血压、血氧饱和度,ERCP术后的重点监测项目,运动功能,比如步态对称性、关节活动范围ROM,行为数据,例如训练时长、动作完成度,以及环境因素,像跌倒风险预警。多模态数据融合的康复监测流程,可以把这些不同来源的数据进行整合并分析,为术后康复护理提供全面的量化依据^[1]。

(二) 临床应用效果分析

可穿戴设备于骨科康复领域的应用所取得的成效较为突出,对于前交叉韧带重建术也就是ACLR患者而言,观察组佩戴传感器设备之后,术后12周的Lysholm评分相较于对照组提升22%,依从性得分提高35%,在北京博爱医院针对全膝关节置换术即TKA患者展开的研究里,使用智能脚环的患者术后3个月的ROM为 $107.3^{\circ} \pm 4.33^{\circ}$,明显高于对照组的 $99.8^{\circ} \pm 4.05^{\circ}$ 。这些研究显示,可穿戴设备可切实提升术后康复的效果以及依从性,为患者给予更精准且个性化的康复护理方案,多模态数据融合机制是提高监测精度的关键所在,设备借助理学与运动传感器同步采集数据,经过云端分析后达成双向干预:一方面引发异常预警比如心率骤变,另一方面动态调整康复方案像关节活动阈值。这种闭环反馈机制把传统被动监测转变为主动干预,使得TKA患者康复方案调整周期从72小时缩短至实时更新^[2]。

(三) 应用案例: TKA患者的智能康复系统

北京博爱医院针对120例TKA患者开展分组研究工作,其中康复组运用NEO-SMART系统,此系统包含智能脚环以及APP,研究得出的结果说明,术后1个月

时，疼痛VAS评分低至 1.2 ± 0.37 分，相较于对照组的 1.7 ± 0.53 分明显更低，该系统取得成功的机制在于其有强大的智能化功能以及人性化设计。其一脚环可对ROM数据进行实时监测，并且自动纠正训练姿势方面出现的偏差，为患者给予精准的动作指导，以此保证康复训练有科学性与有效性，其二医生可依据云端数据动态调整阻力强度，每天更新康复方案，达成康复方案的个性化定制，精准契合患者的康复需求，另外APP所显示的康复进度条以及完成度超过90%时触发的奖励机制，为患者提供强大的心理激励，有效提高患者的参与积极性与依从性。该案例充分说明，借助将家庭康复效果提升至接近住院康复的水平，NEO-SMART系统突破传统康复模式60%的效率瓶颈，为术后康复护理提供全新的思路与方法，呈现出可穿戴设备在术后康复护理领域的巨大应用潜力与价值^[3]。

二、现存问题与挑战

(一) 技术缺陷制约可靠性

虽然可穿戴设备于术后康复护理中呈现出较大的潜力与应用价值，然而其技术方面存在的缺陷，在一定程度上对其可靠性的提高形成限制，影响它在临床实践里的广泛运用，续航能力不足是急需解决的关键要点，当下多数可穿戴设备在连续监测超过8小时后便需要充电，这对于像肢体康复外骨骼这类需要长时间佩戴的设备而言极为不便，致使日均使用中断次数可达到2.3次，对康复训练的连续性与完整性造成严重影响。精度出现波动也是不可忽视的关键方面，光学心率监测在运动伪影干扰的情况下，误差率会达到15%，在深肤色人群当中，这种误差更为较大，这使得监测数据的准确性遭到质疑，对康复方案的科学性与有效性产生影响，另外设备较为笨重也极大地影响患者的使用感受，比如Google Glass因佩戴起来不舒适致使30%的用户不再使用，而Neptune Pine则因为屏幕过大而受到指责。

(二) 数据安全与隐私风险

随着可穿戴设备于术后康复护理领域的广泛运用，患者健康信息即PHI的传输以及存储遭遇严峻挑战，数据安全和隐私保护方面的问题变得日益较大，一方面，未加密的端口有引发数据泄露的可能性，蓝牙开放端口致使23%的医疗数据面临未被授权访问的风险，一旦患者关键的健康信息出现泄露情况，会对患者的生活以及心理造成严重影响，甚至有可能引发一系列法律方面的问题。另一方面，法规冲突也给跨国平台给予合规成本

的大幅提升，比如HIPAA规定数据需本地化，而GDPR则对跨境传输加以限制，这让可穿戴设备在数据安全与隐私保护层面面临巨大挑战^[4]。

(三) 依从性驱动机制不足

依从性属于术后康复护理里的关键因素之一，然而当下可穿戴设备于依从性驱动机制方面存有不足欠缺，极大影响其在术后康复护理中的应用成效，研究显示，影响依从性的因素主要有认知偏差、经济压力以及社会支持缺失，比如在针对慢性乙型肝炎患者的研究里，38%的患者对康复强度需求估计不足，致使康复效果欠佳，月均设备费用超过50美元会使使用率降低27%，经济压力成为患者使用可穿戴设备的关键妨碍因素，而没有家属监督的患者脱落率会提高41%，社会支持缺失对患者的依从性产生不利影响。这些问题的出现让可穿戴设备在术后康复护理中的应用效果受到很大影响，要借助有效的干预举措来提高患者的依从性。

三、改进策略与发展路径

(一) 技术迭代：硬件与算法协同优化

为克服可穿戴设备在技术上的缺陷，硬件与算法的协同优化是关键。如表1所示，关键技术优化路径包括能源管理、多传感器融合和抗干扰算法等方面。例如，采用摩擦纳米发电机(TENG)可以将续航时间延长至72小时，适用于骨科外骨骼；IMU与表面肌电信号联合校准可以将步态分析误差控制在 1.5° 以内，适用于神经康复；运动伪影滤波神经网络则可以将心率监测精度提高至95%以上，适用于心血管术后康复。这些技术的优化不仅能够提升可穿戴设备的可靠性，还能够为术后康复护理提供更为精准的数据支持^[5]。

表1 关键技术优化路径

改进方向	技术方案	预期效果	临床适用性
能源管理	摩擦纳米发电机(TENG)	续航延长至72小时	骨科外骨骼
多传感器融合	IMU+表面肌电信号联合校准	步态分析误差 $\leq 1.5^\circ$	神经康复
抗干扰算法	运动伪影滤波神经网络	心率监测精度 $\geq 95\%$	心血管术后

(二) 构建合规数据生态

在数据安全与隐私保护方面，构建合规的数据生态是解决现存问题的关键所在。去中心化存储采用HIPAA兼容的区块链技术，患者可以通过密钥控制数据调用权限，从而在根本上保障数据的安全性和隐私性，确保患

者的重要健康信息不被泄露和滥用。同时，动态脱敏机制可以在云端自动匿名化处理敏感字段，如姓名和GPS定位等，进一步降低数据泄露的风险，为患者提供全方位的数据安全保障。通过这些措施，可以有效解决可穿戴设备在数据安全与隐私保护方面的问题，为术后康复护理提供可靠的数据支持，确保可穿戴设备在术后康复护理中的合法合规应用，让患者能够放心地使用可穿戴设备进行康复训练。

（三）提升依从性的行为干预

为提升可穿戴设备在术后康复护理中的依从性，行为干预是重要的手段之一。游戏化设计将康复训练转化为虚拟现实（VR）中的闯关任务，通过趣味性和挑战性的游戏设置，极大地提高患者的参与积极性和完成率，可使患者的完成率显著提高至92%。此外，分级付费模式也为患者提供更为灵活的选择，基础监测功能免费，高级分析服务则可以根据患者的需求进行订阅，从而有效降低经济门槛，减轻患者的经济负担，使更多患者能够享受到可穿戴设备带来的便利和优势。这些行为干预措施不仅能够提升患者的依从性，还能够为术后康复护理提供更为人性化的解决方案，让患者在康复过程中感受到更多的关怀和支持，从而更好地配合康复训练，提高康复效果^[6]。

（四）优化案例：惠州广济医院物联网系统

惠州广济医院部署的远程监测平台为可穿戴设备在术后康复护理中的应用提供成功的案例。该平台实现分级预警，当血压偏离基线超过20%时，系统会自动推送警报至医护端；家庭与医院的联动机制使得家属可以通过APP接收跌倒警报，并在5分钟内响应，响应率高达98%；此外，设备租赁费纳入地方医保报销，使用率提高至76%。该系统运行6个月后，患者二次住院率下降19%，门诊随访成本减少32万美元。这一案例说明，通过物联网技术的整合与应用，可穿戴设备在术后康复护理中能够发挥更大的作用，为患者提供更为全面和高效

的护理服务。

五、总结与展望

可穿戴设备通过实时量化康复指标，显著提升术后康复护理的效率和效果。然而，其在技术可靠性、数据安全与隐私保护以及依从性驱动机制等方面仍面临诸多挑战。通过硬件与算法的协同优化、构建合规的数据生态以及提升依从性的行为干预等策略，有望进一步推动可穿戴设备在术后康复护理中的应用。未来的发展方向包括6G与边缘计算的融合，实现毫秒级延迟的居家运动指导；脑机接口技术的融合，为脑卒中患者提供意念控制外骨骼训练；以及全球标准的共建，推进设备认证的互认。持续优化硬件性能、数据治理与人文关怀，可穿戴技术将有望重塑术后康复护理的范式，为患者提供更为优质和高效的护理服务。

参考文献

- [1] 赵月. 互联网+可穿戴设备在老年全髋关节置换术后患者功能康复中的应用研究[D]. 重庆医科大学, 2024.
- [2] 崔佰红, 顾海燕, 张徐萍. 前交叉韧带重建术后患者居家康复护理中可穿戴设备的应用[J]. 护理学杂志, 2024, 39(10): 93-96.
- [3] 王琴潞. 基于移动应用程序联合智能可穿戴设备的远程康复在髋关节置换术后的应用研究[D]. 北京协和医学院, 2024.
- [4] 洪洋, 王洁, 张霞芬, 等. 智能可穿戴设备BPMpathway在全膝关节置换术后患者居家康复中的应用效果[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2024, 44(03): 342-349.
- [5] 卢雯, 贾瑞笑, 张星宇, 等. 可穿戴设备在膝关节置换术后患者康复中应用效果的Meta分析[J]. 中国医学装备, 2023, 20(12): 55-61.
- [6] 卢雯, 陈湘玉. 可穿戴设备在骨科康复中的应用与进展[J]. 中国医疗设备, 2023, 38(03): 160-165.