

人工智能心肺康复诊疗系统的临床研究：以智能 6 分钟步行试验系统为核心的成果总结

王朝丽¹，翟宏伟²，张绵³，韩文杰⁴

¹郑州健康学院健康医学院，河南郑州，中国

²河南为人教育科技有限公司，河南郑州，中国

³郑州市第七人民医院综合重症科，河南郑州，中国

⁴郑州人民医院心血管内科，河南郑州，中国

【摘要】为探讨智能 6 分钟步行试验（6MWT）系统在心肺康复评估中的应用效果与临床价值，方法是以物联网可穿戴设备、AI 算法与多终端管理平台为核心，构建标准化、智能化 6 分钟步行试验体系，并对比其与传统方法在数据采集、流程管理、报告生成及风险预警等方面的差异，结果显示智能 6MWT 系统能够实时监测心率、血氧、血压、12 导联心电等生理指标，实现自动计时、计圈、测距与报告生成，一名医护人员可同时管理多名患者，试验效率得到显著提升，且该系统符合国内外心肺康复指南推荐，适用于慢性阻塞性肺疾病、心力衰竭、肺动脉高压、肺移植术后等中重度心肺疾病患者的疗效评估与运动功能测定；由此得出结论，智能 6 分钟步行试验系统具备安全、准确、高效、适应性强等优势，可推动心肺康复标准化、数字化与分级诊疗落地，拥有重要的临床推广价值。

【关键词】6 分钟步行试验；心肺康复；智能康复；可穿戴设备；物联网；数字疗法

【基金项目】郑州市医疗卫生领域科技创新指导计划项目（人工智能心肺康复诊疗系统平台研发与临床研究）

1.6 分钟步行试验的临床应用与核心价值

1.1 研究背景：我国心肺疾病的流行病学现状与康复需求

伴随国内人口老龄化加剧与居民生活模式的持续转变，心肺慢性病的发病规模与疾病负担逐年攀升，已成为制约国民健康水平提升的重要公共卫生问题。依据《中国心血管健康与疾病报告 2023》统计数据，我国心血管疾病现存患者数量达 3.3 亿，疾病并发症高发，远期预后管理难度较大。同时，慢性阻塞性肺疾病在我国成年人中流行态势严峻，40 岁以上群体患病率达 13.7%，现存患者数量接近 1 亿。此类慢性心肺疾病病程迁延、反复发作，不仅会造成患者躯体功能衰退、活动能力下降与生活质量降低，也大幅增加了各级医疗机构的诊疗压力，形成沉重的社会医疗负担。

心肺康复作为慢性病综合管理的重要组成部分，能够通过系统化、个体化的干预手段改善患者心肺储备功能、延缓病情进展。现阶段，推动心肺康复规范化、精准化开展，实现慢性心肺疾病由被动对症治疗向主动预防与功能康复转变，是完善国内慢性病管理体系、落实健康中国战略的关键环节。

1.2 临床基石：6 分钟步行试验的临床地位与应用意义

心肺康复以运动训练、饮食指导、心理疏导与药物规范化管理为主要组成部分，属于典型的多学科综合干预体系。无论康复评估、疗效监测还是远期随访，运动耐量都是贯穿全诊疗周期的量化指标，它既反映患者的心肺储备能力，也用于判断临床预后、评价康复干预的效果。

在现有的运动功能评估手段中，6 分钟步行试验（6-minute walk test, 6MWT）无须特殊设备、受试风险低、可重复操作，其运动负荷接近患者日常活动强度，因而在中重度心肺疾病患者的运动功能评定中应用最为普遍。2021 年慢性阻塞性肺疾病全球倡议（GOLD）、国内慢性呼吸道疾病呼吸康复管理指南以及《中国心脏康复与二级预防指南 2018》均将其列为 1A 类推荐，作为临床评估的常规项目。

该试验的临床价值因诊疗阶段不同而有所侧重。在基线评定阶段，6MWT 用于掌握患者康复干预前的运动储备与躯体功能状态，为制定个体化康复方案提供依据；干预实施后，步行距离的前后差值可客观反映药

物、手术及康复训练对心肺功能的改善程度，是疗效量化评价的主要来源；就远期结局而言，6分钟步行距离的变化趋势对心力衰竭、肺动脉高压及肺移植术后患者的生存状况具有一定预测价值，可供临床风险分层参考。

1.3 现实困境：传统 6MWT 的应用局限与技术短板

尽管 6MWT 的临床应用价值已得到广泛认可，但传统人工操作模式仍存在明显技术缺陷，难以满足现阶段精准康复与标准化诊疗的发展需求。传统 6MWT 依赖医护人员人工计时、计圈、测距，属于经验主导的评估模式，整体自动化、信息化水平偏低，具体局限主要包括四点。

第一，数据采集精准度不足。人工操作易受医护人员注意力、工作疲劳等主观因素影响，导致计时、测距结果存在偏差，降低评估数据的重复性与临床参考价值。第二，监测维度单一。传统评估仅以 6 分钟步行距离作为唯一评价指标，忽视试验过程中心率、血氧饱和度、血压、心电节律等动态生理指标的变化，无法全面捕捉患者运动应激状态，评估体系存在明显疏漏。第三，风险预警能力缺失。中重度心肺疾病患者运动负荷耐受度差，试验过程中存在心律失常、急性低氧血症等潜在风险，传统模式缺乏实时动态监测与异常预警机制，难以实现风险早识别、早干预，限制了高危患者的临床评估开展。第四，医疗资源利用效率低下。传统试验需一对一专人监护，单名医护人员单次仅可完成少量患者评估，人力成本高、工作效率低，无法适配现阶段大规模、常态化的心肺康复筛查需求，也制约了康复服务由院内延伸至社区与家庭的分级诊疗布局。

1.4 本研究的必要性与科学价值

针对传统 6MWT 的技术瓶颈，依托现代信息技术革新传统康复评估模式，实现人工经验评估向智能化、数据化精准评估转型，是当前智慧康复医疗的研究热点。本研究基于物联网、无线通讯与人工智能技术，构建智能化心肺康复诊疗平台，重点研发智能 6MWT 核心模块，具备重要的临床价值与社会意义。

从技术层面来看，研究依托物联网与低功耗蓝牙、Wi-Fi 无线传输技术，实现多模态生理数据的自动化、高精度、连续性采集与稳定传输，解决了传统评估数据碎片化、误

差大的问题。从临床层面来看，通过人工智能算法实现运动轨迹智能识别与生理异常实时预警，构建全流程安全防控体系，有效提升评估精准度与试验安全性，拓宽适用人群范围。从战略层面来看，智能化云端管理平台可实现患者康复数据的集中存储、智能分析与跨终端共享，支撑院内、社区、居家一体化康复体系建设，助力分级诊疗落地，为健康中国战略的康复医疗信息化建设提供技术支撑。

综上，本研究并非简单的技术迭代，而是对传统心肺康复评估模式的系统性重构，能够有效弥补传统评估体系的不足，推动心肺康复诊疗向标准化、精准化、智能化方向发展，具备良好的临床应用前景与学术研究价值。

2.6MWT 的适应症与临床定位

6 分钟步行试验通过测定患者 6 分钟匀速步行的最大距离，综合反映心肺循环功能、骨骼肌运动能力及整体躯体耐受水平，是贯穿心肺康复筛查、干预、疗效评价与远期随访的核心工具。其临床适应症主要涵盖三类。第一，临床疗效评估，适用于慢阻肺、肺动脉高压、心力衰竭患者的药物与康复治疗效果评价，同时可用于肺移植、肺切除等胸外科手术的围术期功能评估。第二，基线运动功能测定，可系统评估慢阻肺、肺纤维化、周围血管病变及老年慢性病患者的基础运动储备能力，为康复方案制定提供依据。第三，远期预后风险判断，通过步行距离指标对心肺疾病患者的病情进展、不良事件风险及远期生存率进行分层预测，辅助临床精细化风险管理。

3.智能 6 分钟步行试验系统整体构建

本研究融合可穿戴智能硬件、无线通讯技术与人工智能算法，搭建一体化智能心肺康复诊疗平台，构建全流程标准化、数据可追溯、运行高可靠的智能 6MWT 系统，实现 6 分钟步行试验的自动化监测、智能化分析与规范化管理。

3.1 系统整体组成

本系统采用分层架构设计，整体分为四大模块。一是可穿戴硬件采集层，集成 12 导联心电监测、血氧、血压检测及定位束带设备，硬件结构简洁，操作便捷，可实现患者自助穿戴，适配多场景检测需求。二是软件终端管理层，搭载可视化操作平台，内置标准化试验流程，具备语音智能提醒、实时生

理数据监护、动态数据展示功能,规范试验操作流程。三是云端智能算法层,承担大数据存储、AI智能分析、评估报告自动生成、个性化康复方案推送等功能,实现数据深度挖掘与临床转化。四是无线通讯传输层,基于蓝牙 Mesh 通讯技术,保障多设备数据实时、稳定、安全传输,为全流程智能化监测提供技术支撑。

4.智能 6MWT 系统的临床应用效果

4.1 提升试验整体安全性

智能系统可实时动态监测患者心电波形、心率、血氧饱和度、血压等核心生理指标,一旦捕捉到数据异常,即刻触发语音预警提示,能够及时识别试验过程中低氧血症、心律失常、躯体不适等风险隐患,有效规避晕厥、严重心律异常等不良事件发生,显著提升中重度心肺疾病患者运动负荷试验的安全性,扩大临床适用范围。

4.2 保障临床数据精准可靠

系统依托物联网智能设备自动采集各项数据,全程实现智能计时、计圈、测距与生理指标同步录入,彻底规避人工操作带来的主观误差。采集数据精度高、稳定性好,既能够满足临床常规诊疗评估需求,也可为临床科研提供标准化、高质量的数据支撑。

4.3 显著优化诊疗工作效率

系统可基于实测数据自动生成标准化评估报告,包含步行距离、运动心率、运动负荷强度、理论预计值及个性化康复指导建议,替代传统人工统计、手动撰写报告的工作模式。同时,单名医护人员可同时监护 5 至 8 名患者完成试验,大幅降低人力投入,人力成本节约 70%以上。所有数据云端存储、随时调取,有效提升临床诊疗与科研数据统计效率。

4.4 支撑分级诊疗与居家康复落地

本系统支持居家自助式标准化 6MWT 检测,打破传统试验仅能在院内开展的局限,实现医院、社区、家庭康复服务的无缝衔接,助力四级心肺康复分级诊疗体系建设,推动优质康复医疗资源下沉基层,拓宽慢性心肺疾病康复服务覆盖面。

5.无线通讯技术在智能 6MWT 系统中的应用

5.1 低功耗蓝牙(BLE)本地实时通讯

系统本地通讯采用低功耗蓝牙(Bluetooth Low Energy, BLE) Mesh 组网方案,数据传输延迟控制在 100 ms 以内,心电、心率、血氧、血压等生理参数可在秒级完成

同步上传与显示。单台主机最多可同时接入 8 台采集终端,既能满足同一受试者多指标同步监测的需要,也支持多人同步试验条件下的集中监护。蓝牙 Mesh 抗干扰能力较强,可在医院复杂电磁环境中稳定工作,数据丢包率低于 0.1%,试验过程中数据的连续性能得到保证。

5.2 Wi-Fi 云端高速传输

试验结束后,全部检测数据经 Wi-Fi 网络自动上传至云端服务器,上行带宽不低于 10 Mbps,单例患者完整数据的上传时间控制在 3 s 以内。系统设有断点续传机制:网络波动或中断时数据暂存于本地,网络恢复后自动补传,以避免数据缺失。数据安全方面,系统将 AES-256 加密、身份认证与权限分级配合使用,符合医疗卫生机构网络安全管理和个人信息保护的相关规范要求。

5.3 多终端数据同步共享

系统支持医生工作站、护士终端、移动平板与家属端口之间的数据同步共享。试验中出现异常事件时,相关信息可即时推送至医护终端,问题响应时间较原流程缩短约 60%。患者的历史检测数据、生理指标变化曲线与标准化评估报告可跨终端调取,形成覆盖评估、诊疗、康复与随访的闭环管理。

5.4 大数据采集与科研应用价值

单次智能 6MWT 检测可采集有效生理数据点不少于 1200 条,能够完整记录患者在试验全程中的运动生理变化。目前系统已完成 5000 余例真实世界心肺疾病患者的标准化检测,病种覆盖慢性阻塞性肺疾病、心力衰竭、肺动脉高压及胸外科术后康复等。这类高维度、连续性的真实世界数据,可为临床疗效评价、预后预测模型构建与康复指南优化提供数据基础。

6.系统对患者与医疗机构的价值

6.1 对患者的应用价值

对患者而言,系统的价值体现在评估可及性、康复依从性与干预针对性三个方面。患者不必频繁往返医院,可在居家条件下完成标准化心肺功能评估,评估的可及性相应提高;系统设置的智能提醒、运动激励与效果反馈功能,有助于调动患者参与康复训练的主动性。检测过程无创、风险较低,对隐私保护也较为有利,可减少传统流程中排队等候等环节造成的负担。在此基础上,系统依据患者实测心肺数据生成运动方案,使训练强度与个体耐受水平相匹配,减少训练的

盲目性。

6.2 对医疗机构的应用价值

对医疗机构而言,智能评估可替代大量重复性人工判读工作,减轻医护人员的工作负担;一名医护可同时监护多名受试者,科室服务容量得以扩充,单位服务的运营成本相应下降。系统持续积累的真实世界康复数据,可在一定程度上弥补基层康复科研的数据不足。此外,系统统一了6MWT的操作流程、评估标准与报告体系,有利于康复科室质控工作的规范化开展。

7. 讨论

本研究将可穿戴传感技术、低功耗无线通讯、物联网平台与人工智能算法相结合,构建智能6分钟步行试验系统,用于回应传统人工6MWT在测量误差、监测维度、风险预警、人力投入和推广条件等方面的局限。系统的研发思路与应用方式,与《“健康中国2030”规划纲要》关于康复医疗信息化、智能化、普惠化发展的要求相一致。

系统部署方式灵活,既可用于三级甲等医院心肺康复中心的精细评估,也可在社区卫生服务中心、养老机构及家庭场景中承担早期筛查、功能评估、干预实施与长期管理工作。与国内外同类评估设备相比,本系统将12导联心电图同步监测、自助式穿戴、语音预警、报告自动生成与低延迟通讯等功能集成于一体,与国内医疗机构的诊疗流程和分级诊疗体系建设需求更为贴近。

后续研究可进一步整合多模态生理监测数据,改进人工智能预后预测模型,完善全流程闭环管理,逐步实现心肺疾病评估、诊断、康复与随访各环节的智能化,为国内心

肺康复医疗的规范化与数字化发展提供技术支持。

8. 结论

本研究研发的智能6分钟步行试验系统在安全性、数据质量、运行效率与应用可及性方面具有相应优势,其评估标准与国内外心肺康复指南的要求一致,可用于慢性阻塞性肺疾病、心力衰竭、肺动脉高压及胸外科围术期患者的心肺功能评估与康复管理。

系统以低功耗蓝牙、Wi-Fi无线传输与云端加密技术为支撑,实现生理数据的实时采集、稳定传输、安全存储与多终端共享,有助于提高心肺康复诊疗效率、优化医疗资源配置,并为临床科研与分级诊疗的实施提供数据基础。与传统康复评估方式相比,该系统在评估标准化与流程自动化方面有所改进,对国内心肺康复医疗的规范化、智能化与普惠化发展具有推动作用,具备进一步临床应用与推广的条件。

参考文献

- [1]中华医学会呼吸病学分会.中国慢性呼吸道疾病呼吸康复管理指南(2021)[J].中华健康管理学杂志,2021,15(3):261-272.
- [2]中国康复医学会心血管病专业委员会.中国心脏康复与二级预防指南(2018)[J].中华心血管病杂志,2018,46(1):1-44.
- [3]国家卫生健康委员会.关于加快推进康复医疗工作发展的通知[Z].2021.
- [4]中国心血管健康与疾病报告编写组.中国心血管健康与疾病报告2023[R].北京:中国医学出版社,2023.