

与 Pei 等^[18] 及 Tamura 等^[19] 的研究结果相符。重度 OSA 患者夜间反复的间歇性缺氧和复氧导致氧化应激显著增加,产生大量活性氧,从而引起细胞与组织的功能异常。这种氧化应激不仅激活了炎症级联反应,还促使炎症介质释放及免疫细胞浸润,导致全身性和局部炎症反应加剧^[20]。另一方面,OSA 患者的交感神经系统活动显著增强,夜间发生缺氧时,这种交感神经的过度兴奋可导致心率和血压升高,进一步加重心脏负担。此外,缺氧引发的内皮损伤导致内皮功能障碍,使一氧化氮合成减少,从而削弱血管扩张能力并促进血栓形成。随着这些病理变化的积累,患者的代谢调节失控,脂质代谢发生紊乱,进而促使血小板聚集。这些因素的综合作用加速了动脉粥样硬化的进程^[21],显著增加了冠心病的风险。

SIRI 通过多参数的整合有效反映全身系统性炎症状态,2016年由 Qi 等^[13]首次提出。SIRI 在心血管疾病的评估和预后中显示出其独特的价值,相比传统的炎症标志物,SIRI 不仅具有更好的灵敏度和特异度,而且在一定程度上能够克服单一指标所带来的局限性。本研究显示,与 SIRI $<0.84 \times 10^9/L$ 的 OSA 患者相比,SIRI $\geq 0.84 \times 10^9/L$ 的患者发生冠心病的风险是其 2.240 倍,提示 SIRI 增加 OSA 并发冠心病风险。这与 Jin 等^[22] 研究结果相似,此项研究纳入了来自开滦队列的 85 154 例受试者,并对动脉粥样硬化性心血管事件(包括心肌梗死、卒中)和全因死亡进行了 10 年随访,结果显示 SIRI 升高会增加卒中、卒中亚型和全因死亡的风险,且在年龄 <60 岁的受试者中 SIRI 与心肌梗死发生呈正相关。SIRI 通过融合 3 种细胞的功能而展现出其独特优势,这 3 种细胞在动脉粥样硬化的病理过程中相互影响,这种影响对于疾病的发生及进展具有至关重要的意义。中性粒细胞在动脉粥样硬化的炎症反应中扮演着关键角色,通过分泌大量炎症介质、趋化因子和自由基,诱导内皮细胞损伤,导致组织缺血^[23]。单核细胞的活化及其转化为富含脂质的巨噬细胞,是动脉粥样硬化病变形成的基础过程^[24]。此外,淋巴细胞在炎症中发挥调节功能,可能对动脉粥样硬化有抑制作用^[25]。SIRI 所评估的细胞成分之间的比例,能够反映出机体的炎症状态及其在动脉粥样硬化发展过程中的作用。

本研究构建了基于年龄、高血压、糖尿病、LDL-C、AHI、SIRI 6 个独立危险因素 OSA 合并

冠心病的临床预测模型,该模型整合了既有的危险因素和新的炎症生物标志物,目的是提供一种能够进行个性化风险评估的工具,帮助医疗专业人员识别高风险患者,并制定更有效的预防和治疗计划。

然而,本研究也存在一定的局限性:①本研究是一项单中心回顾性研究,这可能导致选择偏倚,从而影响结果的普遍适用性;②病例来源单一,尽管已进行内部验证,但由于数据仅来自一家医院,因此未来需扩大样本量并进行多中心验证,以更全面地评估模型的临床预测效用。

利益冲突声明: 本研究未受到企业、公司等第三方资助,不存在潜在利益冲突。

参 考 文 献

- [1] VEASEY S C, ROSEN I M. Obstructive sleep apnea in adults [J]. *N Engl J Med*, 2019, 380 (15): 1442-1449. DOI: 10.1056/nejmcp1816152.
- [2] BENJAFIELD A V, AYAS N T, EASTWOOD P R, et al. Estimation of the global prevalence and burden of obstructive sleep apnoea: a literature-based analysis [J]. *Lancet Respir Med*, 2019, 7 (8): 687-698. DOI: 10.1016/S2213-2600 (19) 30198-5.
- [3] SUN H, DU Z, YU H, et al. Excessive daytime sleepiness is associated with increased residual cardiovascular risks among coronary artery disease patients with obstructive sleep apnea [J]. *Sleep Med*, 2024, 115: 131-136. DOI: 10.1016/j.sleep.2024.02.004.
- [4] SCHULZ R, GREBE M, EISELE H J, et al. Obstructive sleep apnea-related cardiovascular disease [J]. *Med Klin (Munich)*, 2006, 101 (4): 321-327. DOI: 10.1007/s00063-006-1041-9.
- [5] 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 2020 概要 [J]. *中国循环杂志*, 2021, 36 (6): 521-545. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.06.001.
The Writing Committee of the Report on Cardiovascular Health and Diseases in China. Report on cardiovascular health and diseases burden in China: an updated summary of 2020 [J]. *Chin Circ J*, 2021, 36 (6): 521-545. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.06.001.
- [6] SANDERSON J E, FANG F, WEI Y. Obstructive sleep apnoea and inflammation in age-dependent cardiovascular disease [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41 (26): 2503. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa332.
- [7] DZIEDZIC E A, GAŚSIOR J S, TUZIMEK A, et al. Investigation of the associations of novel inflammatory biomarkers-systemic inflammatory index (SII) and systemic inflammatory response index (SIRI) -with the severity of coronary artery disease and

- acute coronary syndrome occurrence [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23 (17): 9553. DOI: 10.3390/ijms23179553.
- [8] PAU M C, ZINELLU A, MANGONI A A, et al. Evaluation of inflammation and oxidative stress markers in patients with obstructive sleep apnea (OSA) [J]. *J Clin Med*, 2023, 12 (12): 3935. DOI: 10.3390/jcm12123935.
- [9] 中国医师协会睡眠医学专业委员会. 成人阻塞性睡眠呼吸暂停多学科诊疗指南 [J]. *中华医学杂志*, 2018, 98 (24): 1902-1914. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.24.003. Chinese Academy Society of Sleep Medicine of Chinese Medical Doctor Association. Multidisciplinary diagnosis and treatment guidelines for adult obstructive sleep apnea [J]. *Natl Med J China*, 2018, 98 (24): 1902-1914. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.24.003.
- [10] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 等. 稳定性冠心病诊断与治疗指南 [J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46 (9): 680-694. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.09.004. Section of Interventional Cardiology of Chinese Society of Cardiology, Section of Atherosclerosis and Coronary Artery Disease of Chinese Society of Cardiology, Specialty Committee on Prevention and Treatment of Thrombosis of Chinese College of Cardiovascular Physicians. Guideline on the diagnosis and treatment of stable coronary artery disease. *Chin J Cardiol*, 2018, 46 (9): 680-694. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.09.004.
- [11] ZDRAVKOVIC M, POPADIC V, KLASNJA S, et al. Obstructive sleep apnea and cardiovascular risk: the role of dyslipidemia, inflammation, and obesity [J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 898072. DOI: 10.3389/fphar.2022.898072.
- [12] REGEV D, ETZION S, HADDAD H, et al. Obstructive sleep apnea syndrome in vitro model: controlled intermittent hypoxia stimulation of human stem cells-derived cardiomyocytes [J]. *Int J Mol Sci*, 2022, 23 (18): 10272. DOI: 10.3390/ijms231810272.
- [13] QI Q, ZHUANG L, SHEN Y, et al. A novel systemic inflammation response index (SIRI) for predicting the survival of patients with pancreatic cancer after chemotherapy [J]. *Cancer*, 2016, 122 (14): 2158-2167. DOI: 10.1002/ncr.30057.
- [14] HAN K, SHI D, YANG L, et al. Prognostic value of systemic inflammatory response index in patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention [J]. *Ann Med*, 2022, 54 (1): 1667-1677. DOI: 10.1080/07853890.2022.2083671.
- [15] LI Q, MA X, SHAO Q, et al. Prognostic impact of multiple lymphocyte-based inflammatory indices in acute coronary syndrome patients [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 811790. DOI: 10.3389/fcvm.2022.811790.
- [16] O'DONNELL C J, ELOSUA R. Cardiovascular risk factors. insights from Framingham Heart Study [J]. *Rev Española De Cardiol Engl Ed*, 2008, 61 (3): 299-310. DOI: 10.1016/S1885-5857(08)60118-8.
- [17] KLAR YAGGI H, STROHL K P. Adult obstructive sleep apnea/hypopnea syndrome: definitions, risk factors, and pathogenesis [J]. *Clin Chest Med*, 2010, 31 (2): 179-186. DOI: 10.1016/j.ccm.2010.02.011.
- [18] PEI G, OU Q, CHEN Y, et al. Screening for obstructive sleep apnea before coronary angiography [J]. *Clin Respir J*, 2023, 17 (1): 13-19. DOI: 10.1111/crj.13556.
- [19] TAMURA A, KAWANO Y, ANDO S, et al. Association between coronary spastic angina pectoris and obstructive sleep apnea [J]. *J Cardiol*, 2010, 56 (2): 240-244. DOI: 10.1016/j.jcc.2010.06.003.
- [20] MELIANTE P G, ZOCCALI F, CASCONI F, et al. Molecular pathology, oxidative stress, and biomarkers in obstructive sleep apnea [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24 (6): 5478. DOI: 10.3390/ijms24065478.
- [21] BALTZIS D, BAKKER J P, PATEL S R, et al. Obstructive sleep apnea and vascular diseases [J]. *Compr Physiol*, 2016, 6 (3): 1519-1528. DOI: 10.1002/cphy.c150029.
- [22] JIN Z, WU Q, CHEN S, et al. The associations of two novel inflammation indexes, SIRI and SIRI with the risks for cardiovascular diseases and all-cause mortality: a ten-year follow-up study in 85, 154 individuals [J]. *J Inflamm Res*, 2021, 14: 131-140. DOI: 10.2147/JIR.S283835.
- [23] SHAH A D, DENAXAS S, NICHOLAS O, et al. Neutrophil counts and initial presentation of 12 cardiovascular diseases: a CALIBER cohort study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69 (9): 1160-1169. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.12.022.
- [24] KIM J H, LEE Y J, PARK B. Higher monocyte count with normal white blood cell count is positively associated with 10-year cardiovascular disease risk determined by Framingham risk score among community-dwelling Korean individuals [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98 (17): e15340. DOI: 10.1097/md.00000000000015340.
- [25] AZAB B, ZAHER M, WEISERBS K F, et al. Usefulness of neutrophil to lymphocyte ratio in predicting short- and long-term mortality after non-ST-elevation myocardial infarction [J]. *Am J Cardiol*, 2010, 106 (4): 470-476. DOI: 10.1016/j.amjcard.2010.03.062.

(责任编辑: 林燕薇)

· 睡眠医学 · 论著 ·

DOI: 10.12464/j.issn.0253-9802.2025-0008

非接触式连续生命体征监测在慢性阻塞性肺疾病患者病情评估中的应用研究

刘爽^{1,2}, 龙志聪^{1,2}, 周宇麒^{1,2}✉, 罗英华², 杨海玲²

(1. 中山大学附属第三医院肇庆医院呼吸与危重症医学科, 广东 肇庆 526070; 2. 中山大学附属第三医院呼吸与危重症医学科, 广东 广州 510630)

【摘要】 目的 评估非接触式生命体征监测在慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者中的临床应用价值, 分析多维度生命体征参数与病情严重程度的相关性, 探讨其在COPD监测中的应用价值。方法 选择2021年3月至2023年10月在中山大学附属第三医院天河院区诊治的55例COPD患者, 所有患者均接受新型非接触式生命体征监测系统部署, 并完成标准化肺功能评估。收集其临床基线数据, 并采集夜晚生理信号, 核心监测指标包括心率变异性(HRV)、呼吸特征睡眠结构。根据患者肺功能评估情况分为轻、中、重、极重度, 将轻度者分为非严重组, 中、重、极重度者分为严重组, 比较组间差异, 构建风险模型, 并利用受试者操作特征(ROC)曲线分析的各参数在COPD病情评估中的效能。结果 轻、中、重、极重度者的性别、年龄、体质量指数(BMI)、第1秒用力呼气容积(FEV₁)、用力肺活量(FVC)、FEV₁/FVC比较差异有统计学意义(均 $P < 0.05$)。组间心脏总能量、心脏总能量基准值、交感神经张力指数、交感神经张力基准值、迷走神经张力指数以及迷走神经张力基准值比较差异亦有统计学意义(均 $P < 0.05$), 且这些指标随病情加重呈上升趋势; 自主神经平衡和自主神经平衡基准值在组间比较差异未见统计学意义(均 $P > 0.05$)。HRV对COPD患者严重程度的影响较为明显; 迷走神经张力指数、心脏总能量基准值、浅睡眠时间以及长期基准呼吸参数对病情严重程度的诊断具有较高效能, 其ROC曲线下面积(AUC)分别为0.892、0.886、0.800和0.733。结论 非接触式连续生命体征监测在COPD病程管理中具有可行性, HRV、浅睡眠时间和长期基准呼吸频率等指标在COPD患者的病情监测与评估中具有重要的临床应用价值。

【关键词】 慢性阻塞性肺疾病; 非接触式监测; 心率变异性; 自主神经功能; 病情评估模型

Research on the application of non-contact continuous vital signs monitoring in the assessment of patients with chronic obstructive pulmonary disease

LIU Shuang^{1,2}, LONG Zhicong^{1,2}, ZHOU Yuqi^{1,2}✉, LUO Yinghua², YANG Hailing²

(1. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Zhaoqing Hospital of the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Zhaoqing 526070, China; 2. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China)

Corresponding author: ZHOU Yuqi, E-mail: zzyyqqcj7605@163.com

【Abstract】 **Objective** To evaluate the clinical application value of non-contact vital signs monitoring in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), analyze the correlation between multi-dimensional vital signs parameters and disease severity, and explore their application value in COPD monitoring. **Methods** A total of 55 COPD patients treated at the Tianhe Campus of the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University from March 2021 to October 2023 were enrolled. All patients underwent deployment of a novel non-contact vital signs monitoring system and completed standardized pulmonary function assessments. Clinical baseline data were collected, and nocturnal physiological signals were recorded, with core monitoring indicators including heart rate variability (HRV), respiratory characteristics, and sleep structure. Based on pulmonary function assessments, patients were categorized into mild, moderate, severe, and very severe groups. The mild cases were classified as the non-severe group, while the moderate, severe, and very severe cases were combined into the severe group. Intergroup differences were compared, a risk model was constructed,

收稿日期: 2025-01-08

基金项目: 广州市科技计划项目(202206010127)

作者简介: 刘爽, 住院医师, 研究方向: 慢性气道疾病、感染等, E-mail: 2921792192@qq.com; 周宇麒, 通信作者, 主任医师, 博士生导师, 研究方向: 慢性气道疾病、肺炎及支气管哮喘等, E-mail: zzyyqqcj7605@163.com

and the efficacy of each parameter in assessing COPD severity was analyzed using receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** Significant differences were observed among the mild, moderate, severe, and very severe cases in terms of gender, age, body mass index (BMI), forced expiratory volume in the first second (FEV_1), forced vital capacity (FVC), and FEV_1/FVC ratio (all $P < 0.05$). Significant differences were also found between the two groups in total cardiac energy, total cardiac energy baseline value, sympathetic nerve tension index, sympathetic nerve tension baseline value, vagal nerve tension index, and vagal nerve tension baseline value (all $P < 0.05$), with these indicators showing an increasing trend as disease severity worsened. No significant differences were observed in autonomic nerve balance and autonomic nerve balance baseline value between the groups (all $P > 0.05$). HRV had a notable impact on COPD severity. The vagal nerve tension index, total cardiac energy baseline value, light sleep duration, and long-term baseline respiratory parameters demonstrated high efficacy in diagnosing disease severity, with areas under the ROC curve (AUC) values of 0.892, 0.886, 0.800, and 0.733, respectively. **Conclusions** Non-contact continuous vital signs monitoring is feasible in the management of COPD. Indicators such as HRV, light sleep duration, and long-term baseline respiratory rate hold significant clinical value in the monitoring and assessment of COPD patients.

【Key words】 Chronic obstructive pulmonary disease (COPD); Non-contact monitoring; Heart rate variability (HRV); Autonomic nervous function; Disease severity assessment model

慢性阻塞性肺疾病 (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 是一种以持续气流受限为特征的慢性呼吸系统疾病^[1], 其全球疾病负担日益加重, 预计在未来 40 年内将成为全球主要死因之一^[2]。急性缺氧是 COPD 患者病情恶化的关键病理机制^[3,4], 不仅与肺功能加速衰退密切相关^[5,6], 还增加了患者再入院风险, 其中 90 d 内再入院率明显高于 30 d 内^[4]。尽管早期识别 COPD 急性加重期 (acute exacerbation of COPD, AECOPD) 对改善患者预后至关重要, 但传统对患者出院后的生命体征监测手段在动态评估和预警效能方面仍存在显著局限^[7]。

当前临床实践中, COPD 的临床评估主要依赖于肺功能测试和急性加重频率等客观指标。然而, 肺功能检测易受环境因素 (如大气污染、温湿度突变) 的干扰^[8], 且难以全面反映疾病的异质性特征。成年人第 1 秒用力呼气量 (forced expiratory volume in first second, FEV_1) 与用力肺活量 (forced vital capacity, FVC) 比值会随着年龄的增加而下降, 不同性别之间的肺功能存在差异^[9-11]。2023 年 COPD 全球倡议 (global initiative for chronic obstructive lung disease, GOLD) 指南明确指出, COPD 致病机制已从单一吸烟因素扩展至多维度环境交互作用, 包括病原微生物感染、过敏原暴露及气候应激等^[12], 这些外界不利因素可能通过诱发自主神经功能紊乱和夜间低通气, 导致患者病情从稳定期迅速转变为急性加重期^[13]。值得注意的是, 约 78% 的 COPD 患者存在夜间血氧饱和度降低和睡眠结构紊乱^[14], 此类隐匿性病理改变已成为病情恶化的独立危险因素^[15]。

近年来, 智能传感技术的快速发展为 COPD 的监测与管理提供了新的可能性。智能传感设备能够持续、无创地监测患者的日常生理活动, 包括心率、呼吸频率及睡眠质量等指标, 已被广泛应用于呼吸系统疾病的研究中^[16-17]。Hawthorne 团队针对 35 例急性加重期后病情稳定的 COPD 患者开展前瞻性研究, 通过连续 6 周动态监测发现: 在清醒时段, 患者每 15 秒采集的心率 (heart rate, HR)、呼吸频率 (respiratory rate, RR) 及体力活动 (physical activity, PA) 数据与每日慢性肺疾病急性加重评估工具 (Exacerbations of Chronic Pulmonary Disease Tool, EXACT) 症状评分存在动态关联; 根据 EXACT 评分将 AECOPD 分为 3 级——轻度 (症状自我管理)、中度 (需口服糖皮质激素/抗生素治疗) 及重度 (需住院干预); 多水平线性回归模型揭示, HR 与 EXACT 评分呈正相关 ($\beta = 0.32, P = 0.008$), PA 与 EXACT 评分呈负相关 ($\beta = -0.28, P = 0.013$), 而 RR 与症状严重程度无关 ($P > 0.05$)^[18]。有研究者通过可穿戴智能手环收集夜间瞬时心率 (instantaneous heart rate, IHR)、心率变异性 (heart rate variability, HRV)、体温和经皮动脉血氧饱和度 (percutaneous arterial oxygen saturation, SpO_2) 数据, 并利用这些数据进行疾病监测和时空分布可视化, 为 COPD 的区域性管理提供了支持^[8]。Harrington 等^[19]通过在床架背面安装力传感器, 成功实现了对患者体质量及心肺生理信号的被动监测, 并通过与商业设备的对比验证了心肺生理信号在夜间睡眠研究中的准确性, 为慢性心肺疾病的居家管理提供了技术支持。此外, Naranjo-Hernández 等^[20]开发了

一种基于非接触式电容感应的智能背心,用于家庭环境中 COPD 患者的呼吸频率监测,并结合医疗物联网(internet of medical things, IoMT)技术构建了远程监测平台,验证了其可行性和有效性。

研究表明,监测 COPD 患者的自主神经系统功能变化有助于识别病情变化,HRV 降低是不良预后的预测因素^[21]。非接触式监测技术(如微波雷达)在老年人群中的应用研究表明,夜间 HRV 和 RR 监测具有作为 COPD 辅助诊断指标的潜在价值^[22-23]。然而现有监测体系仍面临关键挑战:其一,市售可穿戴设备多局限于单一参数(如心率或血氧)监测,缺乏对自主神经-呼吸-睡眠节律协同变化的综合分析;其二,环境干扰因素(如体位改变、电磁噪声)导致数据可靠性下降;其三,夜间生理参数与肺功能衰退速率(FEV_1 年下降量)的定量关联尚未明确。

针对上述问题,本研究创新性地构建基于多模态传感的非接触式夜间监测系统,通过连续采集 HRV、呼吸及睡眠结构等多维度参数,旨在建立 COPD 患者夜间生理模式与疾病严重程度的量化关系,为个体化预警和精准干预提供新范式。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究采用前瞻性观察性设计,于 2021 年 3 月至 2023 年 10 月在中山大学附属第三医院呼吸与危重症医学科开展。研究对象均经 GOLD 2023 年标准确诊为 COPD(吸入支气管扩张剂后 FEV_1 与 FVC 比值小于 0.7),共纳入初筛队列 75 例。所有参与者均接受新型非接触式生命体征监测系统(WSM-LN-01 型,中科新知,广州)部署,并完成标准化肺功能评估[德国耶格 Master Screen 系统,符合美国胸科学会(American Thoracic Society, ATS)和欧洲呼吸学会(European Respiratory Society, ERS)标准]。经严格质量控制后,最终 55 例完成不少于 150 d 的有效监测[日均有效时间(8.2 ± 1.3)h],排除原因包括设备依从性不足($n = 11$)、合并哮喘/阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征(obstructive sleep apnea hypopnea syndrome, OSAHS)等呼吸系统共病($n = 6$)以及关键数据缺失($n = 3$)。基于前期预试验中 HRV 参数与第 1 秒用力呼气量占用力肺活量百分率(percentage of forced expiratory volume in first second to forced vital capacity,

$FEV_1\%$)实测值占预计值的百分比($\%pred$)的相关性($r = 0.42$),设定 $\alpha = 0.05$ 、 $\beta = 0.20$,经 PASS 15.0 计算需至少 48 例样本,最终纳入 55 例,满足统计学要求。本研究经中山大学附属第三医院医学伦理委员会批准(批件号:中大附三医伦[2021]02-019-01)。所有入组参与者使用设备前均签署知情同意书,如患者不能签署,则由授权家属代表签署。

1.2 病例选择及分组标准

1.2.1 纳入与排除标准

纳入标准:①符合 GOLD 2023 诊断标准;②典型呼吸道症状(每年咳嗽或咳痰超过 3 个月, $mMRC \geq 1$);③年龄 40~80 岁,具备设备操作能力。排除标准:①药物滥用或严重器质性疾病(心肝肾衰竭、癫痫、脑器质病变)者;②继发性睡眠障碍[器质性失眠、多导睡眠监测(polysomnography, PSG)确诊 OSAHS、汉密尔顿抑郁量表(Hamilton Depression Scale, HAMD)得分 > 17 分]者;③监测依从性不足(有效时间 $<$ 总监测期 70%)者;④数据质量缺陷(单次记录体动 > 400 次或离床时间 > 2 h)者。

1.2.2 分层变量

根据基线 $FEV_1\%pred$ 进行 GOLD 分级:1 级(轻度,基线 $FEV_1\%pred \geq 80\%$)、2 级(中度,基线 $FEV_1\%pred$ 为 50%~79%)、3 级(重度,基线 $FEV_1\%pred$ 为 30%~49%)、4 级(极重度, $FEV_1\%pred < 30\%$);为构建 ROC 曲线分析模型,本研究将 GOLD 分级中的轻度(1 级)定义为非严重组,中、重、极重度(2~4 级)合并为严重组,该分类方式参考 GOLD 2023 指南中关于临床干预阈值的推荐^[12]。

1.3 数据采集体系

1.3.1 多维度参数获取

1)临床基线数据:通过电子病历系统提取人口学特征[年龄、体质量指数(body mass index, BMI)]、肺功能参数($FEV_1\%pred$ 、 $FVC\%pred$ 、 FEV_1/FVC)、急性加重史(过去 1 年住院/急诊次数)。

2)夜间生理信号:采用毫米波生物雷达系统(WSM-LN-01)连续采集非接触式生命体征监测系统于 22:00—07:00 的连续性数据,技术参数包括采样频率设为 1 kHz(压力传感模式),监测距离设为 30 cm(枕头下置),信号处理设为小波降噪+自适应滤波,传输方式为蓝牙 5.0 加密传输至云

端数据库。

1.3.2 核心监测指标

核心监测具体指标及算法依据见表1^[24-25]。

1.3.3 数据处理排除标准

数据处理排除标准有以下4点：①单个样本缺失值的数量相对较大（丢失的数据量 $\geq 70\%$ ）；②体动数超过400的数据；③睡眠时间 $< 5\text{ h}$ 或 $> 9\text{ h}$ 的数据；④离床时间 $> 2\text{ h}$ 的数据。

1.3.4 统计学方法

使用SPSS 20.0分析数据。对患者的不同亚组临床资料数据和心脏相关参数采用Shapiro-Wilk法进行正态性检验，符合正态分布和方差齐性的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用单因素方差分析，多重比较采用Tukey HSD检验；偏态分布的计量资料用M(P₂₅, P₇₅)表示，组间比较使用Kruskal-Wallis H检验，采用Dunn多重比较，并进行Bonferroni校正。采用Spearman秩相关分析明确心脏、呼吸和睡眠相关参数对不同肺功能分级

的影响并构建相应风险模型；采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析各参数对肺功能严重程度的最佳截断值、曲线下面积(area under curve, AUC)、灵敏度及特异度。以双侧 $P < 0.05$ 为差异有相关统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料特征

研究共纳入55例COPD患者，年龄为(69.3 \pm 7.0)岁，BMI为(22.4 \pm 3.0)kg/m²，男性占90.9%。

2.2 COPD不同亚组临床资料分析

性别、年龄、BMI、FEV₁%pred、FVC%pred、(FEV₁/FVC)与病情严重程度有关($P < 0.05$)。具体而言，随着COPD患者病情严重程度的加重，其BMI、FEV₁、FVC、FEV₁/FVC指标均呈现下降趋势，而年龄则在重度至极重度的范围内有所升高。见表2。

表1 核心监测指标

Table 1 Core monitoring metrics

参数	具体指标	算法依据
自主神经功能(HRV)	心脏总能量、交感神经张力指数、迷走神经张力指数	FFT频域分析(0.04~0.40 Hz)
呼吸特征	基准呼吸率、AHI指数、呼吸暂停次数	移动窗方差分析法
睡眠结构	NREM各期时间、REM占比、觉醒次数	AASM 2020分期标准

注：心率变异性(heart rate variability, HRV)，呼吸暂停低通气指数(Apnea-Hypopnea Index, AHI)，非快速眼动期(non-rapid eye movement, NREM)，快速傅立叶变换(fast Fourier transform, FFT)。

表2 COPD不同亚组临床资料分析

Table 2 The clinical data analysis of different subgroups of COPD

组别	轻度组(n=13)	中度组(n=11)	重度组(n=18)	极重度组(n=13)	F/H值	P值
男/n(%)	9(69.2)	10(90.9)	18(100.0)	13(100.0)		0.010 ^f
年龄/岁	64.8(59.8, 71.8)	66.8(65.0, 71.0)	74.8(66.8, 83.0) ^a	73.8(71.0, 77.0) ^a	12.695	0.005
BMI/(kg/m ²)	24.5 \pm 1.8	24.4 \pm 3.6	21.6 \pm 2.0 ^a	19.5 \pm 2.8 ^{abc}	7.530	<0.001
FEV ₁ %pred ^e	87.0(81.0, 94.6)	63.4(55.3, 73.1) ^a	39.1(35.0, 43.4) ^{ab}	23.3(19.8, 27.6) ^a	49.602	<0.001
FVC%pred ^e	103.3 \pm 10.8	78.3 \pm 9.2	62.8 \pm 14.9 ^a	41.1 \pm 10.4 ^{abc}	30.260	<0.001
(FEV ₁ /FVC)%pred ^e	73.9(67.4, 78.8)	62.5(62.5, 68.8) ^a	49.4(43.2, 56.8) ^a	45.3(37.8, 51.9) ^{ab}	33.711	<0.001

注：与轻度组比较，^a $P < 0.05$ (Tukey HSD检验)或 < 0.008 (Dunn多重比较, Bonferroni校正)；与中度组比较，^b $P < 0.05$ (Tukey HSD检验)或 < 0.008 (Dunn多重比较, Bonferroni校正)；与重度组比较，^c $P < 0.05$ (Tukey HSD检验)或 < 0.008 (Dunn多重比较, Bonferroni校正)；^fFisher确切概率法；^e%pred指该项指标实测值占预计值的百分比。

2.3 COPD不同亚组心率变异性分析

心脏总能量、心脏总能量基准值、交感神经张力指数、交感神经张力基准值、迷走神经张力指数以及迷走神经张力基准值在不同组间比较差异有

统计学意义($P < 0.05$)，且随着COPD患者病情严重程度的逐步加重，上述各指标均呈现逐渐升高趋势；自主神经平衡和自主神经平衡基准值在组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)，见表3。

表3 COPD不同亚组间心率变异性参数差异性分析

Table 3 Analysis of differences in cardiac-related parameters among different subgroups of COPD

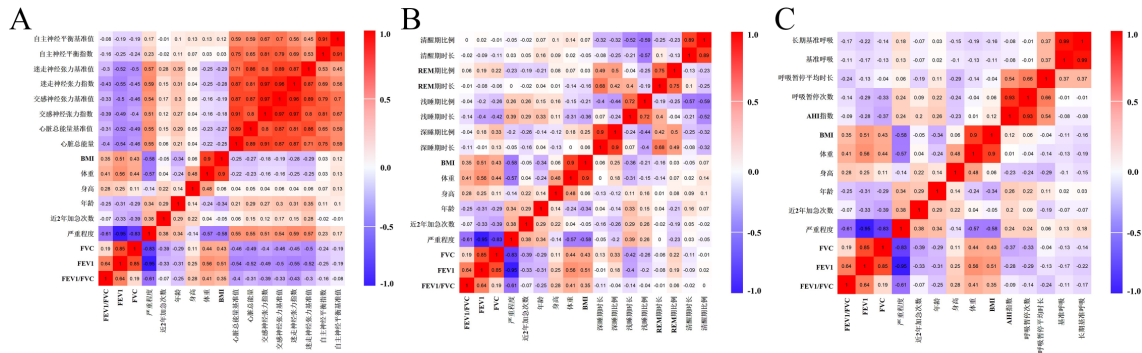
参数	轻度组 (n=13)	中度组 (n=11)	重度组 (n=18)	极重度组 (n=13)	F/H 值	P 值
心脏总能量 /J	3 686.1 ± 706.2	3 760.3 ± 1 937.7	7 377.4 ± 3 957.2 ^a	10 198.4 ± 5 280.2 ^{a*}	6.464	0.001
心脏总能量基准值 /J	3 787.7 ± 279.0	3 827.7 ± 1 703.2	6 984.9 ± 3 047.4 ^a	8 866.0 ± 3 802.4 ^{bc}	6.034	0.001
交感神经张力指数	867.2 ± 205.1	888.4 ± 582.6	1 832.2 ± 1 090.1 ^{ab}	2 528.8 ± 1 392.6 ^c	4.491	0.007
交感神经张力指数基准值	836.6 ± 134.9	982.0 ± 540.8	1 738.5 ± 804.7 ^{ab}	2 313.1 ± 1 130.4 ^c	4.397	0.008
迷走神经张力指数	1 052.6 ± 324.2	1 107.1 ± 496.4	2 001.7 ± 764.1 ^{ab}	2 507.4 ± 960.0 ^c	5.739	0.002
迷走神经张力指数基准值	1 025.9 ± 219.8	1 130.7 ± 470.7	1 814.5 ± 615.3 ^{ab}	2 271.1 ± 838.2 ^c	4.832	0.005
自主神经平衡	0.87 (0.68, 1.03)	0.77 (0.67, 1.02)	0.83 (0.71, 0.95)	0.92 (0.79, 1.08)	0.963	0.397
自主神经平衡基准值	0.87 (0.72, 1.02)	0.83 (0.67, 1.03)	0.87 (0.78, 0.97)	0.90 (0.79, 1.04)	0.494	0.920

注：与轻度组比较，^aP < 0.05 (Tukey HSD 检验)；与中度组比较，^bP < 0.05；与重度组比较，^cP < 0.05。

2.4 COPD患者基本资料、心率变异性、睡眠结构、呼吸特征与病情严重程度的相关性热图分析

COPD患者的病情严重程度与多项指标存在相关性，在这些指标中，FEV₁的相关性最强，其Pearson相关性分析系数达到0.95，呈负相关。综

合来看，相较于呼吸与睡眠相关参数，心脏相关参数对COPD患者严重程度的影响效果较为明显，迷走神经张力指数、迷走神经张力基准值与COPD患者严重程度相关系数分别为0.59和0.57，见图1。



注：A 为患者心率变异性和基本资料与 COPD 严重程度的相关性热图分析；B 为睡眠相关参数和基本资料与 COPD 严重程度的相关性热图分析；C 为呼吸相关参数和基本资料与 COPD 严重程度的相关性热图分析

图1 COPD患者心率变异性、睡眠、呼吸特征和基本资料与严重程度的相关性热图分析

Figure 1 Correlation heatmap analysis of cardiac, sleep, respiratory and basic parameters with severity in COPD patients

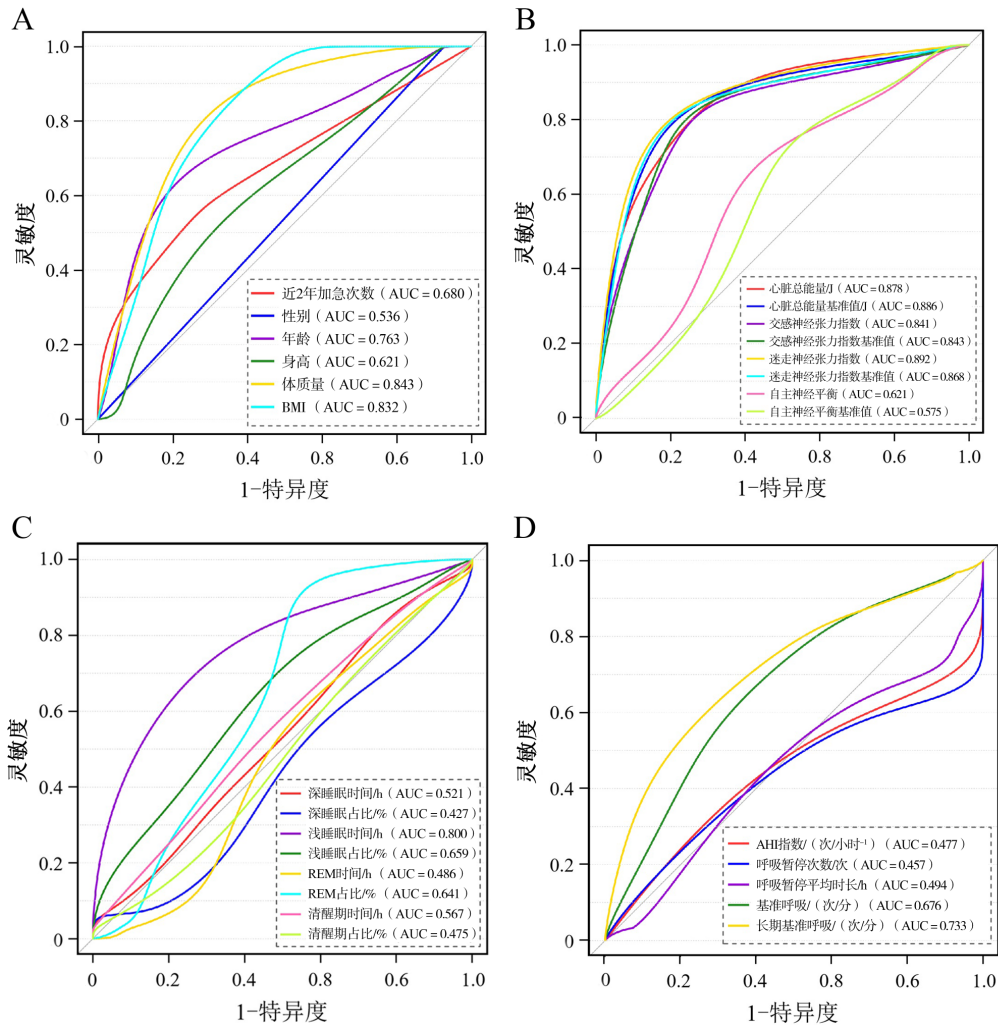
2.5 COPD患者临床基本资料、心率变异性、睡眠结构及呼吸特征与病情严重程度的ROC曲线

本研究采用二分类模型评估指标效能，以 GOLD 1 级（轻度）为对照组（非严重组），GOLD 2~4 级（中、重、极重度）为病例组（严重组），在探究各项指标对 COPD 患者病情严重评估结果中，BMI 显示出较高的诊断效能，其对应的 AUC 值为 0.832，见图 2A。迷走神经张力指数、心脏总能量基准值同样具有较高的诊断效能，两者的 AUC 值分别为 0.892 和 0.886，见图 2B。浅睡眠时间也显示出较高的诊断效能，其 AUC 值为 0.800，见图 2C。长期基准呼吸亦表现出较高的诊断效能，

其 AUC 值为 0.733，见图 2D。

3 讨论

本研究系统探讨了非接触式生命体征监测技术在 COPD 患者中的应用价值，证实了持续夜间睡眠监测在 COPD 病程管理中的可行性和具有潜在临床意义。研究结果显示，性别、年龄、BMI、FEV₁、FVC 以及 FEV₁ 与 FVC 比值与 COPD 病情严重程度有关，这一发现与 GOLD 2023 指南中强调的多维度评估理念相契合^[23]。同时，也提示未来研究需进一步平衡性别分布以提高结果的普适



注：A 为临床基本资料与病情严重程度的 ROC 曲线；B 为心率变异性与病情严重程度的 ROC 曲线；C 为睡眠结构与病情严重程度的 ROC 曲线；D 为呼吸特征与病情严重程度的 ROC 曲线。

图 2 COPD 患者临床基本资料、心率变异性、睡眠结构及呼吸特征与病情严重程度的 ROC 曲线

Figure 2 ROC curves of clinical basic information, heart rate variability, sleep structure, respiratory characteristics, and severity of patients with COPD

性。在对 COPD 患者的 HRV、睡眠结构、呼吸特征和基本资料参数与严重的综合分析中，本研究结果显示 HRV 对 COPD 患者严重程度的影响尤为明显。

研究表明，COPD 患者的心律失常发生率随气流受限的严重程度增加而升高，年龄和较低的 FEV₁% 可能是心律失常的危险因素^[26-27]。COPD 患者的心律失常发生率高，可能与缺氧、高碳酸血症、肺动脉高压等因素有关^[28]。HRV 作为评估自主神经系统对心率控制影响的一种手段，反映了交感神经和副交感神经（迷走神经）影响的平衡，任何交感神经刺激的增加和（或）副交感神经（迷走神经）刺激的减少均会降低 HRV，可能与心

血管疾病风险增加相关^[28-29]。本研究中，HRV 对 COPD 患者严重程度的影响较大。这一发现与既往研究结果一致，表明 HRV 可作为反映自主神经功能的重要指标^[29]，在 COPD 病情评估中具有重要价值。研究中自主神经平衡及其基准值不同组间比较未见统计学意义，这一现象提示尽管患者临床病情存在进展，但交感-迷走神经系统的动态调节机制可能通过代偿性适应维持了相对稳定的功能比值，这或许揭示了 COPD 病程中自主神经功能重塑的重要特征^[28]。

临床实践中，在评估 COPD 患者的呼吸状况时，动脉血氧饱和度指数显示出一定的不足。具体而言，该类指标未能充分考虑低氧血症的严重

程度及其持续时间^[30]。值得注意的是, COPD 患者在快速眼动睡眠期间更倾向于出现低氧血症, 即使在没有明显呼吸阻塞事件的情况下也是如此^[30-31]。此外, 临床特征包括 BMI、颈围和腰围, 能够预测个体患 OSAHS 的风险^[32-33]。而且在 COPD 患者群体中, OSAHS 的风险随着 BMI 的增加而增加^[32]。本研究在探究各项指标对 COPD 患者病情严重程度评估结果显示, BMI、浅睡眠时间、长期基准呼吸显示出较高的灵敏度和特异度, AUC 值分别为 0.832、0.800、0.733, 这一结果表明, 这些指标在 COPD 患者的病情监测与评估中具有重要的临床应用价值。

国内外研究已逐渐关注移动医疗设备在 COPD 患者长期健康管理中的创新应用。一方面, 通过物联网慢性病大数据中心的 APP, 医护人员能够实时监控患者的肺功能筛查和用药情况, 并及时转诊中重度患者^[34]。另一方面, 朱俞彤等^[35]的研究表明, 基于 IoT 的肺康复护理相比常规护理, 在改善患者肺功能、呼吸困难评分和生活质量方面更具优势, 凸显了远程管理对患者康复的积极作用。此外, 本研究开发的非接触式监测系统与 VelardoC 等的平板监护方案相比, 具有更高的患者依从性和更优的成本效益^[36]。综上所述, 移动医疗设备在 COPD 患者的健康管理中展现出显著的积极作用, 为患者的长期康复提供了有力支持。

本研究存在一定的局限性, 研究中男性占比远高于女性, 入组人数较少, 且 COPD 多发生于老年群体, 在重度及极重度分组中未纳入女性患者, 这可能影响研究结果的普适性。COPD 在男性中发病率较高是多种因素共同作用的结果, 其中吸烟和职业暴露是最主要的原因^[33]。然而, 研究未充分考虑混杂因素的影响, 如各组间短效 β -受体激动剂的使用情况和家庭氧疗的实施。短效 β -受体激动剂的使用频率和剂量可能因病情严重程度而异, 并影响 HRV 等生理参数。此外, 家庭氧疗的实施情况(如氧流量和使用时间)可能对患者的血氧饱和度、睡眠质量和自主神经功能产生显著影响。未来研究将详细记录这些信息, 并将其纳入统计分析, 以更准确地评估各因素对 COPD 病情的影响。此外, 本次研究只开展了不同病情程度的 COPD 患者的夜间生命体征监测, 未与正常人对照组监测数据形成对比^[36]。接下来本课题组会继续增加 COPD 患者入组样本量、优化性别比例及增加正常人群作为对照, 增加血氧指标及

整合环境因素[如细颗粒物(particulate matter, PM_{2.5})、温湿度]的动态监测数据, 评估大气环境数据变化和患者病情变化相关性^[37]。此外, COPD 患者夜间低氧血症较为常见, 且与患者的生存期有很大的关系。早期诊断 COPD 夜间低氧血症, 及早给予治疗, 可以延缓疾病的进展^[38]。

利益冲突声明: 本研究未受到企业、公司等第三方资助, 不存在潜在利益冲突。

参 考 文 献

- [1] ERHABOR G E, ADENIYI B, ARAWOMO A O, et al. Acute exacerbation of COPD: clinical perspectives and literature review [J]. *West Afr J Med*, 2021, Vol. 38 (11): 1129-1142.
- [2] FARMER M J S, CALLAHAN C D, HUGHES A M, et al. Applying noninvasive ventilation in treatment of acute exacerbation of COPD using evidence-based interprofessional clinical practice [J]. *Chest*, 2024, 165 (6): 1469-1480. DOI: 10.1016/j.chest.2024.02.040.
- [3] RODRÍGUEZ GONZÁLEZ-MORO J M, IZQUIERDO ALONSO J L. Oral antibiotic treatment of exacerbation of COPD. beyond COVID-19 [J]. *Rev Esp Quimioter*, 2021, 34 (5): 429-440. DOI: 10.37201/req/125.2021.
- [4] ALQAHTANI J S, ALDABAYAN Y S, ALDHAHIR A M, et al. Predictors of 30- and 90-day COPD exacerbation readmission: a prospective cohort study [J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2021, 16 : 2769-2781. DOI: 10.2147/ COPD.S328030.
- [5] YOON S M, JIN K N, LEE H J, et al. Acute exacerbation and longitudinal lung function change of preserved ratio impaired spirometry [J]. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2024, 19 : 519-529. DOI: 10.2147/COPD.S445369.
- [6] CHEN J, YANG Z, YUAN Q, et al. Prediction models for pulmonary function during acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Physiol Meas*, 2021, 41 (12): 125010. DOI: 10.1088/1361-6579/abc792.
- [7] HAWTHORNE G, RICHARDSON M, GREENING N J, et al. A proof of concept for continuous, non-invasive, free-living vital signs monitoring to predict readmission following an acute exacerbation of COPD: a prospective cohort study [J]. *Respir Res*, 2022, 23 (1): 102. DOI: 10.1186/s12931-022-02018-5.
- [8] AGUSTÍ A, CELLI B R, CRINER G J, et al. Global initiative for chronic obstructive lung disease 2023 report: gold executive summary [J]. *Eur Respir J*, 2023, 61 (4): 2300239. DOI: 10.1183/13993003.00239-2023.
- [9] LOBZHANIDZE K, SULAQVELIDZE M, TABUKASHVILI R. Factors associated with decline of fev1 in chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Georgian Med News*, 2021 (311): 89-91.
- [10] COLLABORATORS G 2 D A I. Global burden of 369 diseases and