·临床研究·

探究 COPD 患者数字化听诊与人工听诊的一致性

赵若倩[1,2] 黄玉蓉[2*] 罗倩[2] 刘小丽[2]

（1.新疆医科大学研究生学院，乌鲁木齐 830000；2.新疆生产建设兵团医院呼吸与危重症医学科，乌鲁木齐 830002）

【摘要】 目的 探究数字化听诊技术在慢性阻塞性肺疾病（chronic obstructive pulmonary disease, COPD）患者监测场景下与人工听诊的一致性。**方法** 采用非随机连续抽样法，选取2024年11月至2025年5月期间在新疆生产建设兵团医院呼吸与危重症医学科就诊的COPD患者，借助“国家远程医疗与互联网医学中心数字听诊平台”采集真实临床数字肺音数据1 953条。构建多维度肺音严重程度评估体系，制定统一判读标准后，临床医师对数字肺音特征进行判定，对比分析人工智能分析结果与临床医师听诊分析结果的一致性。以临床医师听诊结果为金标准，借助混淆矩阵计算准确度、召回率、虚警率、精确度，据此评价数字化听诊与人工听诊的诊断一致性。**结果** 数字化听诊及人工智能分析在正常肺音、呼吸音粗糙、啰音、干啰音及湿啰音识别中的准确度分别为99.39%、99.59%、99.18%、99.00%和99.59%，召回率分别为99.44%、98.31%、99.49%、99.10%和98.71%，虚警率分别为0.760%、0.125%、1.025%、1.059%和0.000%，精确度分别为99.11%、99.43%、98.48%、96.49%和100.00%。一致性检验显示，数字化听诊及人工智能分析与临床医师听诊分析在正常肺音、呼吸音粗糙、啰音、干啰音及湿啰音评估中的Kappa值分别为0.988、0.984、0.983、0.972和0.992。**结论** 数字化听诊结果与人工听诊结果呈现出较高的一致性，数字化听诊技术可以缓解医疗资源压力，亦能通过标准化分析降低人为误差，是智慧医疗发展的关键方向。

【关键词】 慢性阻塞性肺疾病；数字化听诊；人工听诊

【中图分类号】 R563.9 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202505011

To explore the consistency between digital stethoscope and manual stethoscope in COPD patients

Zhao Ruoqian[1, 2], Huang Yurong[2], Luo Qian[2], Liu Xiaoli [2]*

(*1.Graduate School of Xinjiang Medical University, Urumqi 830000, China; 2. Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Xinjiang Production and Construction Corps Hospital, Urumqi 830002, China*)

【Abstract】 Objective To investigate the consistency between digital stethoscope technology and manual stethoscope in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patient monitoring scenarios. **Methods** This prospective diagnostic accuracy study employed non-random continuous sampling, collecting 1,953 valid lung sound recordings from COPD patients at the Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Xinjiang Production and Construction Corps Hospital between November 2024 and May 2025. A multidimensional respiratory sound assessment scale was developed with standardized interpretation criteria. Clinical physicians evaluated digital lung sound characteristics while comparing artificial intelligence-powered digital auscultation results with physician assessments for consistency. Taking the clinical physician's listening results as the gold standard, the following indexes were calculated through the confusion matrix: accuracy, recall rate, false positive rate and precision, so as to evaluate the

基金项目：新疆生产建设兵团重点领域科技攻关计划项目（2023AB018-06）；新疆生产建设兵团医院创新团队项目（2022003）；新疆生产建设兵团医院青年基金项目（2023013）

第一作者：赵若倩，女，在读硕士研究生，研究方向：呼吸系统常见病及危重症诊治

通信作者：黄玉蓉，女，硕士研究生，主任医师，研究方向：呼吸系统常见病及危重症诊治

diagnostic consistency between digital stethoscope and manual stethoscope. This evaluation system assessed diagnostic consistency between digital stethoscope and manual stethoscope. **Results** The accuracies of digital stethoscope and AI analysis in identifying normal lung sounds, coarse breath sounds, rales, dry rales, and wet rales were 99.39%, 99.59%, 99.18%, 99.00%, and 99.59% respectively; recall rates were 99.44%, 98.31%, 99.49%, 99.10%, and 98.71%; false positive rates were 0.760%, 0.125%, 1.025%, 1.059%, and 0.000%; precision rates were 99.11%, 99.43%, 98.48%, 96.49%, and 100.00%. Consistency tests showed that the Kappa values of digital stethoscope and AI analysis and clinicians' stethoscope judgment of normal lung sounds, coarse breath sounds, rales, dry rales and wet rales were 0.988, 0.984, 0.983, 0.972 and 0.992, respectively. **Conclusion** The digital stethoscope results showed a high degree of consistency with the manual stethoscope results in patients with COPD. Digital auscultation technology can alleviate the pressure on medical resources and reduce human errors through standardized analysis, and it is a key direction for the development of smart healthcare.

【**Key words**】 Chronic obstructive pulmonary disease; Digital stethoscope; Manual stethoscope

慢性阻塞性肺疾病（chronic obstructive pulmonary disease, COPD）是一种发病率较高的呼吸系统慢性气道疾病，是全球第三大死亡原因，严重影响患者的生命质量[1]。肺部听诊作为一种无辐射、非侵入性的检测方式，在COPD的早期诊断及疾病严重程度评估中具有重要意义。然而，传统听诊方法依赖医师的经验积累与实践技能，其关键局限在于诊断结果易受主观性及个体间差异的干扰[2]，这不仅对医师培训提出了更高要求，还降低了病情判断的一致性。人工智能技术的迅猛发展为听诊实践带来了变革。数字肺音人工智能分析技术凭借其高保真记录呼吸音的特性，实现了对呼吸音的量化分析，有效克服了传统方法的主观性弊端，使评估结果更具客观性[3]。为评估数字化听诊与人工听诊在COPD诊断结果上的一致性，并探究数字肺音人工智能分析技术的临床应用价值，本研究基于真实临床数据，对比了数字化听诊及人工智能分析与临床医师听诊分析的判读结果。现报告如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本前瞻性研究以新疆生产建设兵团医院呼吸与危重症医学科2024年11月至2025年5月期间收治的COPD患者作为研究对象，借助“国家远程医疗与互联网医学中心数字听诊平台”采集真实临床数字肺音数据共计1 953条。所有肺音数据均来自处于COPD急性加重期与稳定期的患者。国家远程医疗与互联网医学中心数字听诊平台采用统一的数字听诊器（产品型号：TZQ–001，生产厂家：山东朗朗智能科技发展有限公司，批准文号：鲁械注准20182210137）采集数字肺音，所有录音均于环境噪声低于36 dB的安静室内完成。

1.2 研究方法

1.2.1 数字化听诊数据采集及人工智能肺音分析

采用Luntech® TZQ–001数字听诊器，采集操作于经严格声学设计的静音室内开展。依据诊断需求，选取并清洁标准听诊点位皮肤；随后对患者进行规范化呼吸指令指导；借助国家远程医疗与互联网医学中心数字听诊平台采集肺音，每个听诊部位采集时间为10 s，肺音采集结束后，通过安全加密通道上传至指定远程医疗平台节点或数据中心。

采集的数字肺音数据上传完成后，应用基于深度学习的人工智能模型进行自动分析。采用卷积神经网络与循环神经网络相结合的混合模型架构，以同步捕捉肺音信号的局部频域特征及其长时依赖关系。原始肺音时域波形首先经过降噪、分段等预处理，随后转换为梅尔频谱图作为模型的主要输入，并进行标准化处理以消除个体采集差异。模型最终输出肺音状态的分类概率，并可对异常肺音片段进行定位，以辅助临床解读。

人工智能数字肺音分析结果包括：湿啰音指数（M指数）、正常音指数（N指数）、干啰音指数（W指数）、湿啰音和干啰音的存在性判断、呼吸音粗糙的识别。其中，M指数、N指数和W指数作为定量指标，由算法基于深度学习分类概率得出，分别表征肺音中存在湿啰音、呈现正常呼吸音特征和存在干啰音的可能性大小。

1.2.2 临床医师听诊数据采集及分析

临床医师听诊分析工作由3名就职于三级甲等医院呼吸科的医师独立完成。参与的医师需满足以下条件：①年均进行肺音听诊的病例数量超过500例；②熟练掌握肺音判读技术；③纯音听阈测试结果≤25 dB，即无听力障碍。由至少2名经验丰富的呼吸科医师独立进行听诊分析，若初步结论一致，则将该结论作为最终参考标准；若出现分歧，则邀请第3名呼吸科医师进行盲法复审，最终结论以至少2名医师达成的一致意见为准，整合医师的分析结果与人工智能分析结果以后进行对比研究。

1.2.3 多维度肺音严重程度评估体系构建

以数字肺音人工智能分析技术为核心，通过对肺音特征进行多维度量化，构建多维度呼吸音严重程度评估体系，评估体系设计参考《国际呼吸杂志》发表的关于数字肺音与医师判断一致性的研究[3]，将肺音特征解析为客观维度：是否为正常肺音、呼吸音粗糙程度、是否存在啰音、啰音强度、啰音类型。相应地，临床医师需从以上5个方面对数字肺音进行判断，并制定统一分类定义，以降低医师之间判断结果的差异度[1]。见表1。

表1 数字化听诊与临床医师听诊的肺音判断维度与分类定义

肺音判断维度	临床医师听诊判断的分类定义
一、肺音是否正常	
正常肺音	未闻及异常的杂音（啰音），呼吸音清，无粗糙感
异常肺音	可闻及啰音和/或显著粗糙
二、粗糙程度	
不粗糙	呼吸音柔和，无干涩感、摩擦音或金属音调
粗糙	呼吸音干涩，摩擦音感强，或呈管状/金属音特征
三、啰音存在性判定	
有啰音	明确闻及额外的异常杂音（与呼吸音质地无关）
无啰音	未闻及异常的额外杂音（与呼吸音质地无关）
四、啰音强度分级	
少量啰音	微弱、间断性出现，不掩盖基础呼吸音
明显啰音	持续性强，清晰可辨，可能掩盖基础呼吸音
五、啰音类型鉴别	不连续气泡音，似液体中气体爆破声
湿啰音	连续性乐音，听起来像空气经过狭窄或凹凸不平的管子发出的声音
干啰音	

1.3 观察指标

以临床医师听诊结果作为金标准，借助混淆矩阵计算准确度、召回率、虚警率、精确度等指标，评价数字化听诊及人工智能分析结果与临床医师听诊分析结果的相互一致性。①准确度指被正确预测的患者的概率，是被正确预测者数与所有被预测数据的比值。②召回率指真正阳性者被预测识别出的概率，是被正确预测者数与所有实际为阳性者的比值。③虚警率指非阳性者被错误预测分为阳性者的概率，是被错误预测为阳性者数与所有非阳性者的比值。④精确度指预测分类为阳性者的真实性程度，是被正确预测为阳性者数与所有被预测为阳性者的比值。

1.4 统计学方法

运用SPSS 23.0软件开展统计分析。分类变量以频数（n）和构成比（%）予以描述。应用混淆矩阵计算Kappa系数以评估数字化听诊与人工听诊的一致性。以$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 研究结果

2.1 数字化听诊及人工智能分析结果

1 953条数字肺音数据的数字化听诊结果为：正常肺音1 050条，占53.76%；异常肺音903条，占46.24%。在异常肺音中，呼吸音粗糙占39.42%（356/ 903），有啰音肺音占86.60%（782/903）；有啰音的肺音中，湿啰音者占79.03 %（618/782），其中，少量湿啰音占48.38%（299/ 618），明显湿啰音占51.62%（319 /618）；有啰音的肺音中，干啰音者占56.78%（444/782），其中，少量干啰音占52.03%（231/444），明显干啰音占47.97%（213/444）；同时存在干啰音和湿啰音者占35.81%（280/782）。

2.2 临床医师听诊分析结果

1 953条数字肺音数据的临床医师听诊结果为：正常肺音1 054条，占53.97%，异常肺音899条，占46.03%。在异常肺音中，呼吸音粗糙占39.15%（352/899），有啰音肺音占87.88%（790/899）；有啰音的肺音中，湿啰音者占77.22%（610/790），其中，少量湿啰音占48.52%（296 /610），明显湿啰音占51.48 %（314/610）；有啰音的肺音中，干啰音者占57.72%（456/790），其中，少量干啰

音占 52.85%（241/456），明显干啰音占 47.15%（215/456）；同时存在干啰音和湿啰音者占 34.94%（276 /790）。

2.3 数字化听诊及人工智能分析结果与临床医师听诊分析结果对比分析

数字化听诊及人工智能分析在肺音是否正常、呼吸音是否粗糙、有无啰音、有无干啰音及有无湿啰音识别中的准确度分别为 99.39%、99.59%、99.18%、99.00%和 99.59%，召回率分别为 99.44%、98.31%、99.49%、99.10%和 98.71%，虚警率分别为 0.760%、0.125%、1.025%、1.059%和 0.000%，精确度分别为 99.11%、99.43%、98.48%、96.49%和 100.00%。一致性检验结果显示，在肺音是否正常、呼吸音是否粗糙、有无啰音、有无干啰音及有无湿啰音评估中，数字化听诊及人工智能分析结果与临床医师听诊分析结果的 Kappa 值分别为 0.988、0.984、0.983、0.972 和 0.992。见表 2。经与医师分析结果对照统计，M 指数代表了肺音内呼吸音之外的附加音的断续程度和粗糙程度，M 指数 >0.3 时即能听到湿性啰音存在，>0.45 时可以听诊较为明显的湿啰音；W 指数代表了肺音内呼吸音的强弱及附加音的粗糙程度，W 指数 >80 即可听到干性啰音，>85 可以听诊较为明显的干啰音；N 指数代表了肺音异常度，正常呼吸音 N 指数 >95。

表 2 数字化听诊及人工智能分析结果与临床医师听诊分析结果对比分析

临床医师听诊分析结果	数字化听诊及人工智能分析结果（条）		Kappa 值	混淆矩阵评价指标（%）			
	是/有	否/无		准确度	召回率	虚警率	精确度
肺音是否正常			0.988	99.39	99.44	0.760	99.11
是	1 046	8					
否	4	895					
呼吸音是否粗糙			0.984	99.59	98.31	0.125	99.43
否	1 595	2					
是	6	350					
有无啰音			0.983	99.18	99.49	1.025	98.48
无	1 159	12					
有	4	778					
有无干啰音			0.972	99.00	99.10	1.059	96.49
无	1 493	16					
有	4	440					
有无湿啰音			0.992	99.59	98.71	0.000	100.00
无	1 335	0					
有	8	610					

3 讨论

在呼吸系统疾病诊断中，肺音分析是一项重要的临床评估技术。针对 COPD 患者，精确的肺音分析对疾病早期识别、病情评估及治疗方案制定具有重要价值[4]。随着技术进步，数字化听诊技术已逐步应用于临床实践[5]。本研究旨在系统评估数字化听诊及人工智能分析与临床医师听诊分析在 COPD 患者肺音特征识别中的一致性。

本研究对数字化听诊及人工智能分析结果进行分类定义，主要是因为目前国内外对于肺部啰音的分类定义不一致，因此对于肺音分析使用规范描述性语言很重要[6]。临床医师则依据专业知识与临床经验，参照标准听诊分类规范进行判断，过程中综合考量患者病史、临床症状及其他辅助检查结果[7]。人工智能通过海量数据训练，可捕捉人类听觉难以辨识的肺音特征。例如，通过解析肺音信号中的微频变异或时序特征，人工智能能精确识别啰音存在性及肺音粗糙度，其微观特征解析能力保障

了高精度判断[8]。

临床医师的专业经验在听诊判断中至关重要。高年资医师在复杂肺音识别中更具优势，而低年资医师可能出现判断偏差[9]。如在啰音类型鉴别中，非典型湿啰音与干啰音易被混淆，而人工智能可依据预设标准实现准确分类。此外，临床医师判断易受认知负荷因素如疲劳、注意力分散影响，尤其在连续听诊场景中准确性可能降低。相比之下，人工智能系统具备持续稳定的分析能力[10]。鉴于人工智能与临床医师判断的高度一致性，人工智能可作为有效的辅助诊断工具：在临床高负荷场景中，人工智能可实现肺音快速初筛，提升诊断效率；在医疗资源匮乏地区，通过远程医疗技术为基层提供肺音分析支持，辅助诊疗决策[11]。

本研究构建的数字化分析框架与临床听诊标准形成互补，依托临床经验建立标准化分类体系。对比分析不仅验证了人工智能技术在肺音特征提取中的可靠性，更揭示了传统听诊标准与现代生物医学信号的映射关系[2]。未来研究可深入探索多维度特征与病理生理指标的关联机制，推动肺音分析实现从经验听诊向数据驱动诊断的模式转化[12]。人工智能在肺音数字化分析中展现出与临床医师高度一致的判别能力，尤其在正常/异常分类及啰音特征识别方面均达到临床可接受的高标准[13]。人工智能辅助诊断既可缓解医疗资源压力，亦能通过标准化分析降低人为误差，是智慧医疗发展的关键方向[14]。

综上所述，数字化听诊及人工智能分析具备较高的敏感性、精准度及客观量化特性，其人工智能分析结果展现出卓越的稳定性。基于上述优势，未来可探索将肺音数据与其他临床数据如影像学检查、实验室检验结果等进行整合，以提升肺音分析的准确性与全面性[15]。例如，将肺音分析与胸部X线或CT结果相结合，可为COPD患者的诊断及治疗提供更为全面的信息。鉴于其临床应用价值与实践意义，亟需开展系统性研究以深化循证医学证据。

[参 考 文 献]

[1] 刘国梁, 张玲, 卢清君, 等. 数字肺音人工智能分析与临床医师判断的一致性研究[J]. 国际呼吸杂志, 2022, 42(3): 180–186.

[2] 庄伟兰,刘晓亮,聂抒,等.数字听诊在临床肺部听诊教学中的应用[J].吉林医学,2025,46(4):1009–1012.

[3] 叶培韬, 张冬莹, 陈文雅, 等. 人工智能在呼吸音方面的研究进展[J]. 国际呼吸杂志, 2022, 42(13): 961–966.

[4] Acharya J, Basu A. Deep neural network for respiratory sound classjficatjon in wearable devices enabled by patient specific model tuning[J]. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, 2020, 14(3): 535–544.

[5] Demir F, Sengur A, Bajaj V. Convolutional neural networks based efficient approach for classification of lung diseases[J]. Health Information Science and Systems, 2020, 8: 4.

[6] Fraiwan M, Fraiwan L, Alkhodari M, et al. Recognition of pulmonary diseases from lung sounds using convolutional neural networks and long short–term memory[J]. J Ambient Intell Humaniz Comput, 2022, 13(10): 4759–4771.

[7] Shi L, Zhang Y, Zhang J. Lung sound recognition method based on wavelet feature enhancement and time–frequency synchronous modeling[J]. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2023, 27(1): 308–318.

[8] 赵峰, 胡南, 陈燕, 等. 基于心肺音智能听诊的呼吸音量化分析与应用评价[J]. 中国数字医学, 2024, 19(8): 74–78.

[9] 上海市医学会儿科分会呼吸学组, 福建省医学会儿科分会呼吸学组, 江苏省医学会儿科分会呼吸学组, 等. 高质量呼吸音数据库建设及管理规范专家共识[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2023, 38(7): 481–485.

[10] 王德华, 郜书辉. 呼吸音数字听诊在呼吸系统疾病远程医疗中应用[J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(7): 91–94.

[11] Christenson S A, Smith B M, Bafadhel M, et al. Chronic obstructive pulmonary disease[J]. Lancet, 2022, 399(10342): 2227–2242.

[12] 吴寅, 廖玺铭, 王琨, 等. 呼吸音数字化分析在体格检查及呼吸系统疾病诊断中的研究进展[J]. 同济大学学报（医学版）, 2024, 45(2): 273–280.

[13] 王苗. 机械振动排痰在减少外科术后ICU机械通气患者肺部并发症的应用分析[J]. 实用临床医药杂志, 2017, 21(10): 70–73.

[14] 陈晓云, 薛磊. 开放式临床技能训练系统在临床医学专业教学中的应用[J]. 广州医科大学学报, 2016, 44(5): 79–81.

[15] 赵虎, 宋晓栋, 何为. 基于虚拟仪器的数字心音图分析仪的设计研究[J]. 医疗卫生装备, 2009, 30(1): 7–9.