

超声新技术在肺结核诊断中的应用进展

汤飞

湖北省十堰市西苑医院, 湖北十堰, 442000;

摘要: 肺结核是全球危害人类健康的主要慢性传染病之一, 早期诊断肺结核是阻断其传播、改善其预后关键环节, 常规诊断方法因受灵敏度、辐射或操作困难等因素影响, 难以满足基层医疗及突发公共卫生场景的需求。近年来, 在医学工程及计算机技术推动下, 超声技术蓬勃发展, 超声造影、超微血流成像、放射组学及人工智能辅助诊断等技术已经逐渐从肺组织含气对成像的影响中解脱出来, 对肺结核病的病灶检出、性质鉴别及治疗指导有独特优势。本文系统梳理超声新技术在肺结核诊断中的应用机制与研究进展, 分析各技术的临床价值与应用局限, 展望多模态整合与智能化诊断的发展方向, 以期为进一步完善肺结核疾病诊断模式提供参考。

关键词: 肺结核; 超声造影; 超微血流成像; 超声放射组学; 人工智能超声

The Application progress of new Ultrasound technologies in the Diagnosis of pulmonary tuberculosis

Tang Fei

Xiyuan Hospital, Shiyan City, Hubei Province, 442000;

Abstract: Pulmonary tuberculosis remains one of the major chronic infectious diseases threatening global human health. Early diagnosis of pulmonary tuberculosis is a critical step in curbing its transmission and improving patient outcomes. Conventional diagnostic methods, limited by factors such as sensitivity, radiation exposure, or operational complexity, often fail to meet the demands of primary healthcare and public health emergency scenarios. In recent years, driven by advances in medical engineering and computer technology, ultrasound techniques have developed rapidly. Technologies such as contrast-enhanced ultrasound, superb microvascular imaging, ultrasound radiomics, and AI-assisted diagnosis have progressively overcome the challenges posed by air in lung tissue, demonstrating unique advantages in detecting tuberculosis lesions, differentiating their nature, and guiding treatment. This article systematically reviews the application mechanisms and research progress of new ultrasound technologies in the diagnosis of pulmonary tuberculosis, analyzes the clinical value and limitations of each technique, and explores future directions, including multimodal integration and intelligent diagnostics, with the aim of providing references for further improving diagnostic models for pulmonary tuberculosis.

Keywords: Pulmonary tuberculosis; Contrast-enhanced ultrasound; Superb microvascular imaging; Ultrasound radiomics; AI-assisted ultrasound

DOI: 10.69979/3029-2808.26.01.066

肺结核是结核分枝杆菌感染引起的, 全球发病率呈波动上升趋势。世界卫生组织“终止结核病战略”明确提出, 早期诊断和快速确诊是减少疾病负担的关键^[1]。但目前存在诸多诊断挑战, 痰涂片和分子检测需要合格标本, 基层难以采集, 胸部 CT 分辨率高但是价格昂贵且有辐射, 无法大规模检测和筛查, 不适合孕妇、儿童等特殊人群检测, 传统超声因肺组织含气特性, 长期局限于胸膜及近胸壁病灶的评估。

超声技术飞速发展的同时, 超声造影、微血管成像、弹性成像及智能化分析等超声诊断技术也逐渐挣脱了传统技术的束缚, 通过捕捉肺结核病理改变引发的超声特征变化, 为肺部病变诊断提供了新路径^[2]。这类技术兼具无创、便携、无辐射及实时成像优势, 可用于资源

匮乏地区、动态随访场景, 成为肺结核诊断领域的研究热点。

1 肺结核诊断的临床困境与超声技术的突破基础

1.1 临床诊断现状与挑战

目前肺结核诊断主要根据病原学、影像学和免疫学联合测定, 然而各有不足。病原学方法: 痰分子检验是参考标准, 但标本受限制, 同时不具备即时检测能力; 免疫学方法: 结核感染 T 细胞斑点试验的特异度波动较大, 易受自身免疫状态的影响。影像学方法: 胸部 X 线的分辨率不高, 易漏诊早期病灶, CT 能发现微小病灶, 但辐射暴露不利于孕期女性、婴幼儿和长期随访中的应

用。

在基层医疗场景中,诊断设备匮乏与专业人员短缺进一步加剧了诊断延迟,大量患者在确诊前已经形成人际传播,因此,开发低成本、易操作、高精度的诊断技术成为肺结核防控的迫切需求^[3]。

1.2 超声技术突破肺显像限制的病理基础

正常肺组织因富含气体,超声波会发生全反射导致显像困难,但肺结核的病理改变为超声诊断提供了可行性。当肺部结核杆菌侵入人体后,会产生肺组织渗出、增生、坏死,破坏肺组织正常含气细胞,出现胸膜下结节、肺实变、胸膜增厚、胸膜腔内积液等^[4]。上述病变组织可致肺组织对超声反射系数的降低,使得超声可通过肺组织并形成图像,为超声新技术的应用提供可能。

现代超声技术通过探头频率的设置和信号处理算法、对比增强等提高对微小病变及血流信号识别率,由胸膜病变评估进一步拓展至肺内病灶的诊断,丰富了超声应用于肺结核的诊疗。

2 核心超声新技术在肺结核诊断中的应用进展

2.1 超声造影技术:病灶微循环的精准可视化

超声造影(CEUS)通过静脉注射微气泡对比剂,实时显示病灶微血管灌注状态,为诊断肺结核病及鉴别诊断提供定量指标,其核心价值体现在病灶定性及介入指导两个维度。

在病灶定性诊断中,肺结核病灶的超声造影特点鲜明。研究发现,胸膜下肺结核及胸膜结核瘤多呈现快进慢退的增强模式,伴随规则树枝状血管,不规则增强,在坏死灶上表现为筛孔样或大片状无增强区域,与肺癌的快进快退及不规则的坏死区明显区别^[5]。在与细菌性肺炎的鉴别中,肺结核除可见两者共有的肺门向胸膜表面分支增强模式外,还表现出向病灶中心四周延伸灌注特征,且坏死灶的数目更多,范围更大,这些特点为疾病的定性诊断提供了参考。

另外,超声造影在肺外结核诊断中也有一定的优势,对于发病率最高的淋巴结结核,其造影表现可分为均匀性增强、中央蜂窝状增强、边缘环形增强等多种类型,提高了淋巴瘤、转移性淋巴结等诊断的准确率^[6],另外超声成像检查能有效地确定病灶的活性区和坏死区,有助于经皮穿刺活检标本获得高成功率和较高的阳性率,在乳腺、腹壁结核的穿刺活检中已经取得了较好的效果。

2.2 超微血流成像技术:慢速微血管的高分辨率捕捉

超微血流成像(SMI)作为新型高分辨率血流成像技术,通过智能化信号处理精准分离血流与组织运动伪像,解决了彩色多普勒对慢速血流的显示局限,较准确地显示淋巴结结核分型。

淋巴结结核的病理分期比较复杂,同一患者不同病灶可能处于各个阶段的病理变化,传统的超声分型主要基于形态和血流特点进行诊断,与病理的诊断缺乏一定的相关性。而超微血流成像,由于其对空间分辨率和血流较为敏感,能够显示淋巴结内部的慢速微血流信号,可以清晰显示病灶的供血情况:生长期表现为周围或中央的条状血流,而坏死期则显示血流变少或仅存边缘环形血流,干酪样坏死区通常无血流信号^[7]。这种精准的血流评估能力,使对患者的淋巴结结核分型和治疗有了更好的依据。

与弹性成像相比,超微血流成像在判断病灶内肉芽肿形成及张力状态方面虽不具优势,但对病灶的血流显示率和分型一致率都更高,二者联合使用可进一步提升检查效率。

2.3 超声放射组学:影像特征的量化深度挖掘

超声放射组学将图像中可视的定量信息提取出来,使得可视的图像成为可分析的信息量,从而实现了肺结核从定性描述到定量评价的发展,解决了传统超声检查无“金标准”的问题。

其主要流程是图像采集、感兴趣区域分割、特征提取与模型构建,在肺结核诊断中,研究多联合灰阶超声(GUS)与超声造影图像构建诊断模型,提取一阶统计量、形状特征、纹理特征及小波特征等多个维度,通过最小绝对收缩和选择算子等算法筛选关键特征后,构建的多元回归模型能显著提升诊断准确性^[8]。

超声放射组学的优势不仅体现在诊断准确性上,其量化特征还可用于治疗疗效评估,对经过治疗且治疗成功的肺结核患者,在纹理特征方面会出现熵值、均匀度方面的明显改变,这种变化可早于病灶大小改变被检测到,对肺结核的早期诊断具有敏感性。

2.4 人工智能超声:诊断决策的智能化升级

人工智能与超声技术的结合实现了肺结核诊断的自动化与标准化,普遍应用于肺结核基层诊断及筛查工作,而深度学习的人工智能超声系统,通过分析便携式超声设备获取的图像,能快速输出诊断结果,降低对操作人员的依赖。

这类系统通常整合多个深度学习模型实现功能互补:基础模型直接从肺部超声图像中诊断结核;辅助模

型专注于检测人类专家可识别的典型超声模式,如肺实变、间质改变等;融合模型则结合两者的风险评分优化诊断效能。

人工智能超声的核心优势在于即时性与可及性,该系统集成于智能手机应用后,可实现检查结果的实时输出,患者在分诊时即可获得诊断意见,缩短诊断时间,降低失访风险。

3 超声新技术的临床应用局限与优化方向

3.1 现存技术瓶颈

尽管超声新技术取得显著进展,但仍存在诸多待解决的问题。在技术上,肺内深部病灶和气含量多的部位显像仍然有限,即使先进的超声成像手段,对肺门及纵隔附近病灶的诊断效能也明显低于胸膜下病灶;超微血流成像穿透力有限,对较小的肺内病变血流显示能力差;人工智能模型泛化能力不足,基于单一地区数据训练的模型在不同人种与流行病学背景下的诊断准确性可能下降。

临床应用方面,缺乏统一的操作规范与诊断标准制约了技术推广。超声造影的增强模式描述、超微血流成像的参数设置及放射组学的特征提取方法等没有统一的标准,研究结果无可比性;基层医疗机构对新技术不熟悉,新技术普及率低,专业人员操作技能不完善。联合应用多模态超声技术使用方法不明确,如何实现各技术优势互补仍需深入研究。

3.2 未来发展方向

面对上述问题,未来针对肺结核诊断的超声新技术发展方向主要集中在三个方面:首先是技术融合创新,通过整合超声造影与超微血流成像,对病灶微循环和微血管形态进行同时诊断;结合弹性成像技术,建立“结构+血流+硬度”多维度评估,提升病灶的定性诊断准确性。其次是智能化升级,增加人工智能模型训练的样本量,包括地区样本和设备样本等,扩展泛化能力;开发多任务学习模型,同时进行病灶检测、分型与疗效预测,构建一体化诊断系统。三是基层适配优化,开发便携式超声,减少体积、减小成本,方便基层检查;结合远程医疗,实现基层检查与专家诊断的实时联动,避免资源分布不平衡。

4 结论

超声新技术的发展对肺结核的诊疗影响巨大,超声成像显示的微循环情况、超微血流影像学显示的低速血流、放射组学定量分析、人工智能智能辅助诊断等都打破传统超声技术的应用壁垒,为肺结核的早期诊断、鉴别诊断及评估疗效提供多种手段,这些技术同时具有无创、便携、无辐射等多种特点非常适合用于基层和大众筛查,将有助于结核疾病防治工作。

当前,超声新技术仍面临深部病灶显像不足、标准化欠缺及泛化能力有限等挑战,但提升空间较大。随着多模态整合技术的成熟、人工智能模型的优化及基层适配设备的研发,超声技术将在肺结核诊断中实现从辅助手段向核心工具的转变,为全球结核病控制目标的实现提供强有力的保障。

参考文献

- [1]任少杰,宋香菊,赵丹,等.肺部超声用于肺结核诊断的临床研究[J].生命科学仪器,2023,21(6):57-60.
- [2]刘玥,何成诗.肺结核诊断方法的归纳分析[J].临床医学进展,2023,13(11):17872-17875.
- [3]曹春爽,曹春娟,郑雄辉.不同检测手段在肺结核诊断中的应用研究[J].西藏医药,2024,45(4):33-34.
- [4]任少杰,宋香菊,赵丹,等.肺部超声用于肺结核诊断的临床研究[J].生命科学仪器,2023,21(6):57-60.
- [5]段炼,冯艳芬,高源.超声造影定量参数结合血清肿瘤标志物对胸膜下肺结核、肺癌、胸膜下肺结核合并肺癌的鉴别诊断价值[J].河南医学研究,2024,33(20):3674-3678.
- [6]张文,刘晓宇,温智峰,等.颈部淋巴结结核超声造影声像特征及其诊断价值[J].中国急救复苏与灾害医学杂志,2024,19(8):1060-1062,1087.
- [7]黄秀玲,董常峰.超声新技术在颈部淋巴结结核中的应用价值[J].新发传染病电子杂志,2021,6(3):255-259.
- [8]王瑞,陈炜,王金萍,等.多模态超声联合血清学肿瘤标志物在肺周围型病变良恶性鉴别中的应用价值[J].中华医学超声杂志(电子版),2024,21(11):1048-1056.