

超声诊断新技术在乳腺 BI-RADS 4 类微小结节良恶性诊断中的研究新进展

于波 沈红梅^(通讯作者)

(延边大学附属医院(延边医院) 超声医学科 133000)

【摘要】乳腺癌已成为威胁我国女性健康的主要恶性肿瘤，发病率持续走高。乳腺 BI-RADS 4 类微小结节恶性风险区间宽、影像学特征不典型，良恶性鉴别难度大，是临床早期筛查的重点与难点。本文综述超声弹性成像、超微细血流成像、超声造影、自动乳腺全容积扫描及人工智能辅助超声等新技术的应用进展，分析各项技术的诊断效能、优势与局限性。单一技术均存在短板，而多模态超声融合可从组织硬度、微血管灌注、解剖结构等维度综合评估，有效提升诊断准确率。结合国内分级诊疗模式合理推广相关技术，完善智能化诊断模型，有助于提升早期乳腺癌检出率，减少不必要穿刺活检，改善患者整体预后。

【关键词】乳腺肿瘤；BI-RADS 4 类；微小结节；超声技术；鉴别诊断；多模态影像

Recent Advances in the Application of New Ultrasonic Diagnostic Techniques for Differentiating Benign and Malignant Breast Micronodules Classified as BI-RADS Category 4

Yu Bo Shen Hongmei^(Corresponding authors)

(Department of Ultrasound Medicine, Affiliated Hospital of Yanbian University (Yanbian Hospital) 133000)

[Abstract] Breast cancer has become the leading malignant tumor threatening women's health in China, with continuously rising incidence rates. BI-RADS Category 4 micronodules exhibit a broad range of malignancy risks and atypical imaging characteristics, posing significant challenges in differentiation between benign and malignant lesions, making them a critical focus and difficulty point in early clinical screening. This article reviews the application progress of advanced techniques such as ultrasound elastography, ultrafine blood flow imaging, contrast-enhanced ultrasound, automated whole-volume breast scanning, and AI-assisted ultrasound, analyzing their diagnostic efficacy, advantages, and limitations. Each technique alone has inherent limitations; however, multimodal ultrasound fusion enables comprehensive evaluation across tissue stiffness, microvascular perfusion, and anatomical structures, effectively improving diagnostic accuracy. The rational adoption of these technologies within China's hierarchical healthcare system and development of intelligent diagnostic models can enhance early detection rates of breast cancer, reduce unnecessary needle biopsies, and improve overall patient outcomes.

[Key words] Breast tumor; BI-RADS 4 category; Micro-nodule; Ultrasound technology; Differential diagnosis; Multimodal imaging

1. 乳腺癌的现状

乳腺癌是威胁全球女性健康的重要恶性肿瘤。据 2022 年国际癌症机构数据，全球女性乳腺癌年新增 230 万例，同比升高 11.6%^[1]。该病发病存在明显地域区别，欧美、澳洲等发达地区发病率偏高，亚、非、拉美等发展中国家原先发病率偏低，差异和各地经济水平、生活习惯、乳腺筛查普及程度相关^[2]。近些年发展中国家乳腺癌发病率持续快速攀升，我国增长态势尤为突出。相关统计表明乳腺癌占国内全部恶性肿瘤的 7%~10%，多个大城市中该病发病率位居女性恶性肿瘤首位；2024 年国家癌症中心数据显示，我国每年乳腺癌新发病例约 35.72 万，占女性新发恶性肿瘤的 19.9%。

BI-RADS 4 类结节属于可疑恶性病变，恶性概率介于 2%~95%，其中直径≤10mm 的微小结节病灶体积小、影像

学表现缺乏特征性，良恶性鉴别是乳腺影像诊断难点，精准诊断关系早期乳腺癌检出及患者预后。早筛早治是降低乳腺癌病死率的关键，但国内筛查覆盖面、基层医疗资源配置尚有短板，早期诊疗技术有待完善。现阶段临床主要依靠乳腺钼靶 X 线、乳腺超声、乳腺 MRI 三种方式开展 BI-RADS 4 类微小结节的筛查与诊断。

2. 超声诊断新技术在乳腺 BI-RADS 4 类微小结节良恶性诊断中的应用

2.1 超声弹性成像技术

超声弹性成像(UE)依托良恶性乳腺组织硬度差异鉴别病灶，恶性结节细胞密集、间质纤维化，质地更硬，通过量化弹性参数区分病变，主要分为应变式(SE)与剪切波

式(SWE)两类,已广泛用于BI-RADS 4类微小结节诊断。

SE依靠人工施压造成组织形变,以应变率比值评估硬度,设备简易、便于基层开展。相关研究显示,SE单独诊断AUC为0.757,联用常规超声后升至0.889。但该方法结果受操作者施压手法影响大,重复性欠佳,针对<5mm微小结节易发生假阴性。

SWE是SE的改良技术,自动发射剪切波并定量测算弹性模量,摆脱人工操作干扰。荟萃分析表明,SWE诊断灵敏度90%、特异度86%、AUC 0.92,整体优于SE,还可减少30%~40%不必要活检。多中心研究证实,SWE结合年龄可精准甄别4a类微小结节,减少多余穿刺与手术;联合常规超声后诊断灵敏度96.1%、特异度79.5%,AUC可达0.877,显著高于单一常规超声(AUC=0.795)^[3]。但SWE仍存在局限,当微小结节位于乳腺深部、贴近胸壁或周围存在致密腺体遮挡时,剪切波传播易受干扰,导致参数测量不准确;同时,部分良性结节(如硬化性腺病)因间质增生也会表现为高硬度,易出现假阳性结果。

2.2 超微细血流成像技术

超微细血流成像(UMFI)是新型无创微血管超声技术,依靠杂波滤波和时空融合技术去除组织伪影,可检出0.1mm以下微细血管,不用造影剂就能评估结节微血管,弥补了普通多普勒与超声造影的短板^[4]。该技术直接观察病灶原生微血管形态:恶性微小结节增殖旺盛,微血管杂乱迂曲、排布密集;良性结节血管走行规整、分布稀疏,依靠血管形态差异区分病变良恶性。

多项临床研究验证了其诊断价值,一项纳入132例BI-RADS 4类微小结节的多中心研究显示^[5],UMFI诊断敏感度90.5%、特异度86.8%、AUC为0.921,明显优于常规彩色多普勒超声(AUC=0.763);针对5~10mm微小结节,AUC可达0.934,能够检出常规超声遗漏的低速微细血流。同时该技术对早期乳腺癌特征性微钙化检出率较普通超声提升40%以上。

联合应用可进一步提高诊断效果,89例病例研究表明,UMFI联合剪切波弹性成像后AUC升至0.953,诊断准确率94.4%。因其无需造影剂,规避过敏风险,适合肾功能受损不能做超声造影的患者^[6]。此外,检查流程简便、耗时与常规超声相近,设备附加成本低,患者接受度高,更便于基层普及推广。

但UMFI仍存在短板,直径<5mm的极微小恶性结节内部血管稀少、血流极慢,图像常无法显示血流信号,容易造成假阴性,整体诊断效能不及超声造影。

2.3 超声造影技术

超声造影(CEUS)依靠静脉注入微气泡造影剂增强病灶血流回声,可全程动态监测微血管灌注,弥补常规彩色多普勒难以显示微细血管与坏死区血流的不足。新型靶向造影剂可特异性结合乳腺癌相关受体,进一步提高微小结节诊断效能,现有数据显示CEUS诊断BI-RADS 4类结节灵敏

度86.96%、特异度81.43%、准确率82.80%^[7]。

多项研究证实,对比增强超声(CEUS)有助于提升对BI-RADS 4类乳腺病变良恶性鉴别的诊断准确率^[8]。通常在CEUS影像中,恶性病灶多表现为“快速灌注、快速廓清”及“向心性”非均匀性强化的特征;而良性病变则常呈现为均匀性强增强^[9]。此外,CEUS能够更清晰地显示乳腺病灶的血流灌注情况,克服了彩色多普勒血流成像(CDFI)在检测微血管及坏死区域血流信号方面的局限性,从而可为穿刺活检提供更准确的定位与引导,进一步降低病理取材的误差。

尽管CEUS在辅助诊断方面表现优异,但其在微小结节评估中仍存在一定局限。作为一种轻度侵入性检查,静脉穿刺及造影剂本身带来的潜在过敏风险限制了其在所有人群中的普适性。同时,目前临床针对BI-RADS 4类病变的CEUS定量与定性诊断标准尚未完全统一。对于直径极小的微小结节,其内部造影剂的灌注特征可能不够典型,容易出现诊断重叠,仍需结合二维灰阶图像进行综合评估。

2.4 自动乳腺全容积扫描

自动乳腺全容积扫描(ABVS)依托机械臂全自动标准化扫查,可采集0.5mm薄层断层图像并完成全乳三维重建^[10],摆脱传统手持超声对操作者水平的依赖,支持脱机复盘、多切面阅片,便于致密乳腺及深部BI-RADS 4类微小结节的解剖评估。

ABVS在微小结节诊断中的最大突破,在于能够提供手持超声难以获取的冠状面图像。由于恶性肿瘤常伴随间质促结缔组织增生并牵拉周围悬韧带,在ABVS冠状面上极易表现出特征性的“汇聚征”和“虫噬征”^[11]。周恒等对60例患者共71个乳腺结节的回顾性分析显示,相较于常规手持超声,ABVS能够显著提升对BI-RADS 4类结节良、恶性判断的准确度(87.32%、77.46%, $P<0.05$),且在进一步区分4类结节的亚型方面,展现出良好的敏感度与特异度^[12]。为提高诊断精确性,可考虑将ABVS的影像特征与BI-RADS分类标准联合使用,这样有助于对现有部分4类病灶实现更精准的风险分层——部分可能归为3类(良性可能性较高),部分则划分至5类(高度怀疑恶性),从而优化临床决策,降低误诊及漏诊的发生率。

ABVS仍存在应用局限:乳房体积过大或皮肤破溃时探头贴合不佳,乳房边缘、腋窝易漏扫;检查仅可显示静态解剖结构,无法评估病灶血流与组织弹性。此外,其特征性冠状面征象暂未纳入BI-RADS官方评估标准。因此临床多将ABVS作为常规手持超声的补充检查,结合功能学超声实现形态与功能联合诊断。

2.5 人工智能(AI)辅助超声技术

人工智能(AI)辅助超声是将深度学习、神经网络等AI技术与超声成像结合,实现乳腺结节的自动识别、特征分析及良恶性诊断。其核心价值在于解决超声诊断的主观性问题,提升诊断一致性,尤其适用于基层医疗机构及低年资

医师,在BI-RADS 4类微小结节诊断中展现出良好的应用前景。

AI辅助超声的核心优势在于能够通过大量数据训练实现病灶特征的量化与自动化分析,显著减少诊断过程中的主观偏差,提高诊断的一致性与可重复性。尤其在处理微小、不典型病灶时,AI模型能够捕捉到人眼难以识别的细微特征,从而提升小病灶的检出率与诊断敏感度。此外,AI系统能够快速处理图像,缩短诊断时间,提升筛查与诊断效率,对于医疗资源相对匮乏的基层医疗机构具有重要价值。

AI辅助超声现阶段仍存在不少应用短板。第一,模型训练需要大批量标注规范的超声与病理资料,但国内缺少标准化多中心数据库,致使模型在不同设备、不同人群中通用性较差。第二,AI仅依靠图像特征做模式识别,不能采集患者症状、既往史、肿瘤家族史等临床资料,面对同病异象、同象异病的疑难病例难以综合研判。第三,现有AI多为黑箱算法,诊断逻辑无法阐释,不能给临床医生提供明确判读依据,阻碍了其在临床诊疗与医患沟通中的大范围落地应用。

3.多模态融合影像技术在乳腺BI-RADS 4类微小结节诊断中的价值

多模态超声融合技术整合常规超声形态学信息与各类功能成像参数,弥补单项检查诊断特异度不足的问题^[1],是BI-RADS 4类微小结节鉴别诊断的重要方案。BI-RADS 4类结节恶性风险跨度2%~95%,常规超声虽检出灵敏度尚可,但易造成大量良性结节不必要穿刺活检。多模态方案联合剪切波弹性成像(SWE)、超声造影(CEUS)、应变弹性成像(SE)及彩色多普勒血流成像(CDFI)等技术,从病

灶硬度、微血管形态、血流灌注多维度互补评估:CEUS可直观呈现恶性肿瘤紊乱的微血管结构,SWE精准定量组织硬度,两者结合为鉴别诊断提供了更丰富的依据。

4.小结与展望

超声诊断新技术的快速发展为乳腺BI-RADS 4类微小结节的良恶性鉴别提供了多元化的解决方案。超声弹性成像(尤其是SWE)通过定量评估组织硬度,有效补充了病灶的功能信息;超微细血流成像技术(UMFI)实现了对结内微血管网络的无创、高灵敏度评估;超声造影(CEUS)通过静脉注射微泡造影剂,可实时动态观察结节的血流灌注模式,清晰显示恶性病变常呈现的快速快出、不均匀增强等特征;自动乳腺容积超声(ABVS)则通过全自动三维扫描生成标准化图像,大幅降低操作者依赖性,并利于冠状面“汇聚征”等结构的显示。此外,人工智能(AI)辅助超声通过自动化分析,致力于解决传统超声诊断的主观性与不一致性问题。各类技术均有其独特的优势和明确的适用场景,但也存在各自的局限性,如SWE对深部结节评估受限、UMFI对极低血流病灶敏感性不足、CEUS需使用造影剂且对操作经验要求较高、ABVS设备成本高且扫描时间相对较长、AI对临床信息融合能力欠缺等。

临床多采用常规超声联合多项新技术的多模态方案,取长补短提升诊断准确率。结合国内医疗布局,基层优先普及SWE与低成本AI超声;而在具备条件的三甲医院可依托超声组学等前沿技术开展研究,搭建标准化多中心数据库优化AI模型。未来通过分级诊疗模式搭建高效诊断体系,提升早期乳腺癌检出水平、改善患者预后。

参考文献:

- [1]Sung H, Ferlay J, Siegel R L, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*,2024,74 (3):181-213.
- [2]Momenimovahed Z, Salehiniya H. Epidemiological characteristics of and risk factors for breast cancer in the world. *Breast Cancer*,2019,11:151-164.
- [3]Zhang H, Liu J, Chen Y, et al. Shear-wave elastography improves the diagnostic accuracy of conventional ultrasound for breast micro-nodules categorized as BI-RADS 4. *Ultrasound Obstet Gynecol*,2023,62 (3):456-463.
- [4]胡道秀,陈武,曹静玮,等.超微血流成像技术在乳腺BI-RADS 4类结节鉴别诊断中的应用及效能分析[J]. *肿瘤影像学*, 2025,34 (05):530-539.
- [5]薛姗姗.剪切波弹性成像彩色模式法及图像特征对乳腺良恶性病变的诊断价值[C]//中国超声医学工程学会.中国超声医学工程学会成立四十周年暨第十四次全国超声医学学术大会论文汇编(下册).西安:西安交通大学第一附属医院, 2024:471-472.
- [6]兰什,苑蕾蕾,武林松,等.微血流成像联合剪切波弹性成像对BI-RADS 4类乳腺结节良恶性的鉴别价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2025,41 (09):973-977.

第一作者:于波(2000年7月-),女,汉族,山西省大同市人,硕士研究生,研究方向:超声医学;

*通讯作者:沈红梅(1975年6-),女,朝鲜族,吉林省延吉市人,研究生,正高职称,研究方向:甲状腺超声技术。