

多模态超声诊断乳腺癌的研究进展

赵义萱¹ 华国勇² (通讯作者)

1.青海大学临床医学院 青海 西宁 810000

2.青海省人民医院介入超声科 青海 西宁 810000

【摘要】：乳腺癌是全球女性最常见的恶性肿瘤，其早期准确诊断、精准分型及疗效评估对改善患者预后至关重要。随着超声技术的飞速发展，多模态超声整合了常规超声、超声弹性成像、超声造影等多种技术，显著提升了对乳腺癌的诊断与评估能力。本文基于近期国内外相关研究文献，系统综述了多模态超声在乳腺癌鉴别诊断、分子分型预测、新辅助化疗疗效评估、腋窝淋巴结状态判断等方面的最新研究进展。文章分析了各种超声模式的技术原理、诊断价值及其联合应用的协同效应，并展望了多模态超声与人工智能、影像组学等前沿技术融合的未来发展方向，以期为临床实践和后续研究提供参考。

【关键词】：多模态超声；乳腺癌；超声弹性成像；超声造影；新辅助化疗；分子分型；腋窝淋巴结转移

DOI:10.12417/2811-051X.26.04.090

1 引言

乳腺癌的诊疗已进入“精准医学”时代，其核心在于获取肿瘤在解剖学、功能学乃至分子生物学层面的全面信息。传统二维超声虽能提供良好的形态学信息，但在定性诊断、尤其是评估肿瘤的生物力学行为方面存在局限。多模态超声应运而生，它通过一次检查，整合了反映组织血流灌注的超声造影、反映组织硬度的超声弹性成像（特别是剪切波弹性成像），以及传统的二维和彩色多普勒超声，实现了对肿瘤“形态-功能-力学”特性的多维度、一体化评估。当前研究热点已从单一的良恶性鉴别，深入至预测分子分型、评估治疗反应及预测淋巴结转移等更为复杂的临床问题。本文旨在对基于多模态超声在乳腺癌领域的应用进展进行系统性的梳理与综述。

2 多模态超声的核心技术及其在乳腺癌诊断中的基础性作用

2.1 常规超声

常规超声（US）即二维超声及彩色多普勒超声，是乳腺检查的基石，能够清晰显示肿块的大小、形态、边界、内部回声、微钙化以及后方回声特征。根据文献所报道，肿块的不规则形态、毛刺状边界、微小分叶、垂直位生长、内部微钙化及丰富血流信号是提示恶性病变的重要特征^[1-2]。李恩敏等^[3]的研究强调了超声特征与临床病理指标联合在预测腋窝淋巴结转移中的价值，表明常规超声特征本身即蕴含重要的预后信息。

2.2 超声弹性成像

超声弹性成像（UE）通过评估组织的硬度来提供互补诊断信息。恶性肿瘤通常因细胞增殖密集、间质纤维组织增生而质地坚硬。该技术可分为应变式弹性成像和剪切波弹性成像。剪切波弹性成像能够定量测量组织的杨氏模量值（如 E_{max} , E_{mean} ），提供客观的硬度指标。李雪等^[4]的研究构建了基于弹性成像的“硬度-血流双参数模型”，证明其在诊断非肿块型乳腺癌（一种易漏诊的类型）中具有良好效果。多项研究^[2,5]

证实，UE 能显著提高对 BI-RADS 4 类病灶的鉴别诊断能力，降低不必要的穿刺活检。

2.3 超声造影

超声造影（CEUS）通过静脉注射微泡造影剂，实时动态观察肿瘤微血管的灌注过程。恶性肿瘤通常表现为高增强、快速不均匀增强、增强边界不规则，并可见滋养血管。CEUS 能更清晰地显示肿瘤的实际范围、内部坏死区以及多灶性病变。傅晶晶等^[6]的研究均聚焦于 CEUS 在诊断乳腺癌前哨淋巴结转移中的应用，揭示了其在评估淋巴结转移状态方面的巨大潜力。

2.4 多模态超声的联合应用

单一模态各有侧重，而多模态联合则能实现优势互补，产生“1+1>2”的效应。例如，王彦等^[2]的研究指出，超声弹性成像联合超声造影可显著提高对乳腺弱回声肿块的诊断准确性。赵佳桦等^[7]也证实，超声造影和弹性成像的联合应用对 BI-RADS 4 类乳腺肿块的良恶性鉴别具有重要价值。这种联合应用模式是多模态超声诊断理念的核心体现。

3 多模态超声在乳腺癌精准评估中的前沿应用

当前研究已远远超越良恶性鉴别的范畴，进入了对乳腺癌进行深度精准评估的新阶段。

3.1 预测新辅助化疗疗效

新辅助化疗是局部晚期乳腺癌的标准治疗方案，其疗效评估至关重要。多模态超声能在治疗早期甚至治疗前提供疗效预测信息。刘莹等^[8]的研究构建了基于剪切波弹性成像、超声造影及免疫组化指标的联合模型，用于预测 NAC 疗效，显示了多参数模型的高预测效能。段玉楠等^[9]的研究同样证实，多模态超声参数（如治疗前后肿瘤大小、硬度、血流灌注的变化）是预测 NAC 后病理缓解的可靠指标。更进一步，联合磁共振成像参数与多模态超声构建了预测局部晚期乳腺癌 NAC 效果的模型，体现了多模态影像融合的趋势。

3.2 鉴别乳腺癌分子分型及预测生物标志物

乳腺癌具有高度的异质性，不同的分子分型（Luminal A, Luminal B, HER-2 过表达，三阴性）其治疗策略和预后迥异。多模态超声无创预测分子分型是当前的研究热点。黄敏玲等^[10]的研究均分析了不同分子分型乳腺癌的多模态超声成像特征，发现三阴性乳腺癌常表现为形态规则、边界清晰，但内部回声不均、后方回声增强，且多为乏血供；而 HER-2 过表达型则多表现为高血供。康锦涓等^[11]基于多模态超声构建了多元回归模型，成功用于预测 Luminal 型与非 Luminal 型乳腺癌。此外，侯雪琴等^[12]构建了预测 BCL-2 表达水平的模型，伍璐等^[13]、李诗瑶等^[14]则分别探讨了超声特征与 HER-2 等预后分子标志物的相关性，为无创获取肿瘤分子信息开辟了新途径。

3.3 评估腋窝淋巴结状态

腋窝淋巴结是否转移是决定乳腺癌分期和预后的关键因素。避免对前哨淋巴结阴性患者进行不必要的腋窝淋巴结清扫是临床追求的目标。多模态超声在此领域展现出巨大潜力。韩森等^[15]的研究证实，CEUS 联合 SWE 对诊断三阴性乳腺癌的腋窝淋巴结转移具有高价值。罗静薇等^[16]的研究则分别关注了 SWE 定量参数在预测腋窝淋巴结转移中的作用。祖潇^[17]的硕士论文专门研究了多模态超声在预测乳腺癌前哨淋巴结转移中的价值，这些都表明该领域是当前的研究重点。

3.4 诊断特殊类型乳腺癌及非肿块型病变

乳腺黏液癌、非肿块型乳腺癌等病变在常规超声上特征不典型，诊断困难。李娜等^[18]的研究专门评估了多模态超声对乳腺黏液癌的诊断效能。李安琪等^[19]也探讨了多模态超声诊断非肿块型乳腺病变及其超声造影特征与肿瘤分子分型的相关性，凸显了多模态超声在应对诊断难点时的独特优势。

4 多模态超声与新兴技术的融合

4.1 超声影像组学

影像组学能够从医学图像中高容量地提取大量人眼无法识别的定量特征，并进行分析建模。孙婧^[20]和杨瑞^[21]的文献均提及了超声影像组学在预测乳腺癌腋窝淋巴结转移和分子亚型中的应用前景。黄宏山^[22]的研究则基于超声造影影像组学构建了预测前哨淋巴结转移的列线图。影像组学与多模态超声的结合，有望更深层次地挖掘超声图像中的信息，实现更客观、

精准的预测诊断。

4.2 人工智能

AI 技术，特别是深度学习，能够自动学习超声图像中的复杂模式。宁冬妮等^[1]在综述中强调了 AI 辅助超声在评估腋窝淋巴结状态中的重要作用。AI 可以辅助病灶识别、分割、特征提取和良恶性分类，有助于降低操作者依赖性，提高诊断的标准化和效率。虽然您提供的表格中直接涉及 AI 的文献不多，但这是多模态超声未来发展的重要方向。

5 挑战与展望

尽管多模态超声取得了显著进展，但仍面临一些挑战：

(1) 操作者依赖性：超声诊断在一定程度上仍依赖于操作者的经验。未来需推进检查的标准化流程和引入 AI 辅助。

(2) 标准化与规范化：不同设备厂商、不同参数设置可能影响结果的重复性。需要建立跨平台、多中心的标准化成像方案和诊断标准。

(3) 证据级别提升：当前许多研究为单中心、小样本量的回顾性研究，需要更多大样本、前瞻性、多中心的临床研究来验证现有模型的普适性和可靠性。

(4) 技术整合与流程优化：如何将多模态超声、影像组学、AI 等技术无缝整合到临床 workflow 中，实现快速、高效的“一站式”评估，是需要解决的实际问题。

未来，多模态超声将朝着更精准、更智能、更融合的方向发展。其与 MRI、PET 等多模态影像的融合，与基因组学、蛋白质组学等分子信息的关联（即“影像基因组学”），将共同推动乳腺癌诊疗进入一个全新的、真正意义上的精准化时代。

6 结论

综上所述，多模态超声通过整合多种成像模式的信息，已发展成为乳腺癌诊疗体系中不可或缺的强大工具。它不仅在肿瘤的早期发现和定性诊断中表现出色，更在预测分子分型、评估新辅助化疗疗效、判断淋巴结转移状态等精准医学核心环节展现出巨大潜力和临床价值。随着影像组学、人工智能等新技术的深度融合以及大型临床研究的不断深入，多模态超声必将在提升乳腺癌个体化诊疗水平、改善患者预后方面发挥越来越重要的作用。

参考文献：

- [1] 宁冬妮,徐晓红.多模态超声和人工智能辅助超声评估乳腺癌术前腋窝淋巴结状态的研究进展[J].分子影像学杂志,2025,48(10):1320-1324.
- [2] 王彦,曾辉,梁春梅.超声弹性成像联合超声造影在乳腺弱回声肿块中的诊断价值[J].贵州医药,2025,49(09):1452-1454.
- [3] 李恩敏,鹿皎,卓晓英,等.乳腺浸润性导管癌超声特征联合临床病理指标预测腋窝淋巴结转移[J].齐齐哈尔医学院学报,2025,46(21):2041-2047.

- [4] 李雪,库朝阳,张改彦.基于弹性成像的硬度-血流双参数模型诊断非肿块型乳腺癌的效果研究[J].航空航天医学杂志,2025,36(11):1319-1321.
- [5] 王尊宪,孙琳,马淑霞.冷冻消融治疗恶性肿瘤研究进展[J].新乡医学院学报,2025,42(05):432-437.
- [6] 傅晶晶,刘江豪.CEUS联合超声SWE技术对乳腺癌前哨淋巴结转移的诊断价值[J].医学理论与实践,2025,38(19):3349-3351.
- [7] 赵佳桦,梁博.超声新技术在BI-RADS 4类乳腺肿块良恶性鉴别诊断中的应用价值[J].南通大学学报(医学版),2025,45(05):486-490.
- [8] 刘莹,杨鹏,吴剑,等.基于剪切波弹性成像、超声造影及免疫组化指标的联合模型预测乳腺癌新辅助化疗疗效[J].临床超声医学杂志,2025,27(11):918-925.
- [9] 段玉喃,钟娜,焦秀霞,等.常规超声、超声造影联合剪切波弹性成像检查对乳腺癌新辅助化疗后腋窝淋巴结病理缓解的预测效能[J].医学影像学杂志,2025,35(09):81-86.
- [10] 黄敏玲,何艳慧.多模态超声对不同分子分型乳腺癌的鉴别价值分析[J].大医生,2025,10(16):116-119.
- [11] 康锦涓,黄玲,于鹏,等.基于多模态超声构建多元回归模型预测Luminal型与非Luminal型乳腺癌的临床价值[J].湖南师范大学学报(医学版),2025,22(03):126-133.
- [12] 候雪琴,高军喜,刘怡彬,等.基于多模态超声特征构建乳腺浸润性导管癌BCL-2表达水平预测模型[J].新疆医科大学学报,2025,48(09):1268-1274+1281.
- [13] 伍璐,高展,罗国鹏.乳腺癌超声及超声造影表现特征与预后分子病理学标志物相关性研究[J].影像技术,2025,37(01):18-23.
- [14] 李诗瑶,王薇,曹闲潭,等.超声造影和超声弹性成像特征与乳腺癌HER-2表达的相关性分析[J].中国医学装备,2024,21(05):69-73.
- [15] 韩森,王兴田,娄可新,等.超声造影联合剪切波弹性成像在三阴性乳腺癌腋窝淋巴结转移诊断中的价值[J].影像科学与光化学,2025,43(05):147-152.
- [16] 罗静薇,肖金燕,钟薇超.超声剪切波弹性成像参数在女性乳腺癌患者腋窝淋巴结转移预测中的价值分析[J/OL].现代肿瘤医学,1-5[2025-12-14].<https://link.cnki.net/urlid/61.1415.R.20250527.0953.006>.
- [17] 祖潇.多模态超声在预测乳腺癌前哨淋巴结转移中的价值[D].南京中医药大学,2025.
- [18] 李娜,李凡,杜联芳,等.多模态超声对乳腺黏液瘤的诊断效能研究[J].肿瘤影像学,2025,34(03):223-232.
- [19] 李安琪,杨鹤,翟虹,等.多模态超声诊断非肿块型乳腺病变及超声造影特征与肿瘤分子分型的相关性分析[J].中国中西医结合影像学杂志,2025,23(03):346-351.
- [20] 孙婧.基于超声影像组学和炎症指标的乳腺癌腋窝淋巴结转移预测模型研究[D].河北北方学院,2025.
- [21] 杨瑞,武永丽,石项天,等.多模态超声及超声影像组学在预测乳腺癌分子亚型中的应用进展[J].内蒙古医学杂志,2024,56(10):1232-1235.
- [22] 黄宏山.基于超声造影的影像组学构建列线图预测乳腺癌前哨淋巴结转移的临床研究[D].右江民族医学院,2024.