

# 超声造影在乳腺癌中应用的研究进展

牛丁忍<sup>1</sup>, 马玉娇<sup>2\*</sup>, 梁美慧<sup>3</sup>, 邓国威<sup>4</sup>

<sup>1</sup>黑龙江中医药大学研究生院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>2</sup>新疆生产建设兵团第十师181团医院超声科, 新疆 北屯

<sup>3</sup>新疆生产建设兵团第十师北屯医院功能检查科, 新疆 北屯

<sup>4</sup>新疆生产建设兵团第十师北屯医院普外科, 新疆 北屯

收稿日期: 2025年6月21日; 录用日期: 2025年7月15日; 发布日期: 2025年7月23日

## 摘要

超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)作为一种无创、实时、动态成像的诊断技术, 在乳腺癌的早期诊断、治疗监测及预后评估中应用价值不断提升。本文综述了CEUS技术在乳腺癌诊断与治疗领域的最新研究进展, 涵盖其在良恶性病变鉴别、新辅助治疗疗效评估的应用现状, 探讨了现存问题与局限, 并展望了未来发展趋势。

## 关键词

超声造影, 乳腺癌, 研究进展

# Research Progress on the Application of Contrast-Enhanced Ultrasound in Breast Cancer

Dingren Niu<sup>1</sup>, Yujiao Ma<sup>2\*</sup>, Meihui Liang<sup>3</sup>, Guowei Deng<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

<sup>2</sup>Department of Ultrasound, 181st Regiment Hospital, 10th Division, The Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun Xinjiang

<sup>3</sup>Department of Functional Diagnostics, Beitun Hospital, 10th Division, The Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun Xinjiang

<sup>4</sup>The Department of General Surgery, Beitun Hospital, 10th Division, The Xinjiang Production and Construction Corps, Beitun Xinjiang

Received: Jun. 21<sup>st</sup>, 2025; accepted: Jul. 15<sup>th</sup>, 2025; published: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 牛丁忍, 马玉娇, 梁美慧, 邓国威. 超声造影在乳腺癌中应用的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(7): 1312-1317. DOI: 10.12677/acm.2025.1572129

## Abstract

As a noninvasive, real-time, dynamic imaging diagnostic technique, contrast-enhanced ultrasound (CEUS) has been increasing its value in early diagnosis, treatment monitoring and prognosis evaluation of breast cancer. This article summarizes the latest research progress of CEUS technology in the diagnosis and treatment of breast cancer, covers its application in the identification of benign and malignant lesions, evaluation of the efficacy of neoadjuvant therapy, and prognostic monitoring, discusses the existing problems and limitations, and looks forward to the future development trend.

## Keywords

Contrast-Enhanced Ultrasound, Breast Cancer, Research Progress

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

尽管乳腺癌的现代医学防治手段不断取得突破性进展，但最新数据显示，乳腺癌的发病率仍在持续攀升。据 2024 年美国癌症协会(American Cancer Society, ACS)公布的数据显示，乳腺癌已成为新诊断癌症病例中发病率最高的恶性肿瘤[1]；此外，中国疾病预防控制中心(Chinese Center for Disease Control and Prevention, China CDC)发布的数据显示[2]，乳腺癌已成为我国女性发病率排名第二的恶性肿瘤，并呈现逐年升高的趋势。乳腺癌高发病率所带来的公共卫生负担与医疗挑战，促使医学界亟需研发并优化更精准、更高效的早期诊断和治疗监测技术，以降低患者的疾病负担并提高生存质量。超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)作为一种新兴的影像诊断技术，因其无辐射、实时动态监测肿瘤血流灌注的优势，近年来已广泛应用于乳腺癌的临床诊断与治疗评估中，并取得了显著的进展与突破。本文将详细综述近年来超声造影在乳腺癌诊疗领域的最新研究进展，以为临床医生提供参考和借鉴。

## 2. 超声造影技术的概括

### 2.1. 超声造影原理

超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)是一种先进的医学影像技术，在传统超声检查的基础上，通过静脉注射含有微泡的造影剂，使微泡在血管内流动过程中产生明显的超声反射信号，从而显著提升超声影像中血管结构的清晰度和血流成像效果[3]。这种微泡造影剂通常由充满惰性气体(如六氟化硫或过氟丙烷)的微小气泡构成，具有极强的超声回声特性，当注入人体静脉后会迅速进入血液循环，随着血液流动到达身体的各个部位[4] [5]。由于微泡造影剂仅停留在血管腔内，不渗透到组织间隙，能显著增强病变组织与周围正常组织的对比度，因此超声造影能够精准地描绘组织器官的血管灌注模式与微循环状态，有助于实时评估血流动力学参数以及微血管结构的完整性与功能状态，帮助提供更为清晰精准的血流动力学信息[6]。

### 2.2. 超声造影技术临床优势

超声造影(CEUS)技术使临床医生能够更清晰、细致地实时观察和辨识器官血流的动态变化及微小血

管网络结构,并实现对肿瘤、炎症、缺血等病变区域的高精度识别与评估。这为疾病的早期诊断、病情动态监测、治疗效果评估和预后判断提供了重要的影像学支持。在乳腺癌诊疗中,前哨淋巴结(Sentinel lymph node, SLN)转移情况是判断患者预后和指导治疗决策的重要指标,其存在往往提示肿瘤可能已发生远处播散[7]。与传统超声相比,CEUS 在定位乳腺癌前哨淋巴结方面具有更高的准确性和更简便的操作优势。相关荟萃分析显示,CEUS 诊断 SLN 转移的敏感性和特异性分别达到 88%和 76.17% [8]。CEUS 可将 SLN 增强模式分为均质增强、非均质增强和无增强三种类型:均质增强与非转移性 SLN 相关,无增强则提示转移性 SLN,而非均质增强则可能与转移性和非转移性 SLN 均有关,有助于临床医生更准确地区分 SLN 的转移状态。此外,相较于 CT 血管造影和 MRI 血管成像等其他影像学技术相比,CEUS 在临床应用中具有多项明显优势[9]-[11],首先,CEUS 完全不使用电离辐射,因此对于孕妇、儿童及需要反复多次检查的患者更为安全,更具可重复性。其次,CEUS 所使用的微泡造影剂不经肾脏代谢排泄,对肾功能不全或肾脏疾病患者无明显毒副作用,安全性明显优于碘造影剂(用于 CT 增强检查)或钆造影剂(用于 MRI 增强检查)。此外,CEUS 操作便捷,可以在床旁甚至急诊现场进行,具有实时动态观察和快速获得诊断信息的能力,对于急诊患者,如创伤导致的脏器损伤出血、急性心血管事件等的快速评估和决策提供重要帮助。在人工智能与影像组学快速发展的背景下,CEUS 与人工智能的深度结合,正为疾病诊断领域带来革命性变革,通过精准量化病灶的血流动力学特征和纹理信息,显著提升诊断的准确性、敏感性和特异性[12]

鉴于以上优势,CEUS 已广泛应用于肝脏疾病的早期筛查、肿瘤病变的精准诊断、治疗效果监测以及术后随访管理[13],并在乳腺癌[14]、前列腺癌[15]、肾脏肿瘤[16]、急诊医学等多个领域获得了广泛认可并逐渐普及,为临床诊断与治疗策略制定提供了重要的影像学依据。

### 3. 超声造影在乳腺癌诊断中的研究进展

流行病学研究表明,乳腺癌的发生与多种慢性疾病及代谢异常状况存在显著关联[17] [18]。孟德尔随机化(Mendelian Randomization, MR)研究作为一种前沿的流行病学分析方法,通过利用遗传变异作为工具变量,有效地减少混杂因素和反向因果推断带来的偏差,进一步证实了两者之间的关联性[19] [20]。在明确乳腺癌与慢性疾病间紧密联系的同时,随着社会经济水平的提高、人们健康意识的增强,以及“两癌”(乳腺癌、宫颈癌)筛查工作的不断推广,公众对于乳腺健康的关注度也随之显著提升。然而,目前传统乳腺筛查方法,如乳腺 X 线摄影,在实际临床应用中仍存在一定局限性。近期研究指出,乳腺 X 线摄影在筛查过程中可能漏诊约 24%的乳腺癌病例,且确诊患者的平均年龄达到 61 岁[21]。这一现状凸显了临床上亟需研发和推广更敏感、更精准的乳腺早期诊断技术,以实现疾病的早期发现和及时干预。

CEUS 作为一种先进的影像学技术,近年来在乳腺癌诊断领域取得了显著进展,并获得了广泛关注。CEUS 通过向乳腺病变区域注射微泡造影剂,实时动态观察和分析病变区域的微循环特征,有效显示乳腺病变的微血管结构及血流动力学改变。这种技术显著增强了乳腺病变良恶性的鉴别诊断能力,展示出比传统超声和乳腺 X 线摄影更高的敏感性和特异性,乳腺癌病灶在 CEUS 中的典型表现主要为向心性、不均匀的高增强,造影后病灶范围常较常规超声扩大。此外,多数恶性病灶可见扭曲的穿支血管或蟹足样增强模式,反映肿瘤内部因血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)高表达所致的新生血管结构紊乱和微循环异常[22]。这些特征为乳腺癌的精准识别提供了关键影像学依据。

周等[23]开展的一项系统评价纳入了 5246 个乳腺病变,结果表明 CEUS 在乳腺病变良恶性鉴别诊断中具有较高的敏感性(0.88)和特异性(0.82)。此外,也有研究通过系统评价和荟萃分析,进一步确认了 CEUS 在乳腺癌诊断和病理反应预测方面的重要临床价值[24]。亦有研究指出,常规超声(CUS)的影像组学方法在乳腺癌诊断和分子亚型预测中表现出较好的应用前景,整体准确率达到 81.3%;而结合 CEUS 的多模

态影像组学模型则进一步提升了诊断性能, 准确率提高至 85.4%, 尤其在预测 HER2 过表达亚型时表现更为突出, 准确率达 84.0%。上述结果充分说明, CEUS 通过提供实时动态的微循环信息, 能有效提升影像组学模型的预测效能, 发挥关键的辅助诊断作用[25]。同时, 关于 CEUS 特征与乳腺癌分子亚型(Luminal A 型、Luminal B 型、HER2 过表达型、三阴性型)的相关性研究指出: Luminal A 型的曲线下面积(AUC =  $305.1 \pm 188.4$ )及峰值强度(PI =  $4.7 \pm 2.3$  dB)显著低于其他亚型( $P < 0.05$ ), 提示其微血管灌注较弱; HER2 过表达型的达峰时间(TTP)最短( $19.8 \pm 4.9$  秒), 较 Luminal A 和 B 型分别快 6.5 秒和 3.3 秒( $P < 0.05$ ), 反映出该亚型血流灌注速度最快; 而三阴性型的 AUC 较高( $496.6 \pm 254.7$ ), PI 中等( $6.9 \pm 2.6$  dB), 其血流动力学特征介于 Luminal 型与 HER2 型之间。这些研究表明, CEUS 增强模式及相关血流动力学参数(AUC, TTP, PI)能够有效区分不同乳腺癌分子亚型, 为乳腺癌的无创性预测提供重要的影像学依据[26]。综合以上分析结果, 可以一致认为, CEUS 在乳腺病变良恶性鉴别诊断及分子亚型预测中展现出良好的临床准确性与诊断效能。

#### 4. 超声造影在乳腺癌新辅助化疗疗效评估中的价值

CEUS 技术在乳腺癌新辅助化疗(neoadjuvant chemotherapy, NAC)疗效评估中的应用具有重要的临床意义和研究价值。传统的影像学方法, 如常规超声(CUS)和乳腺 X 线摄影, 由于难以敏感捕捉病灶内部的微循环变化和肿瘤血流动力学特征, 限制了其对化疗疗效的早期精准评估能力。CEUS 通过注入微泡造影剂, 能够清晰、实时地展现乳腺癌病灶内部的微血管灌注情况, 动态监测化疗过程中肿瘤血管新生、血流灌注及肿瘤坏死状况, 从而实现更早期、更精准的疗效评价[5][27]。近期研究进一步表明, CEUS 在预测乳腺癌患者 NAC 病理反应方面也表现出优异的诊断效能, 敏感性高达 0.89, 特异性为 0.83 [23]。另有研究指出, 与传统影像学相比, CEUS 在 NAC 早期即能准确区分治疗有效和无效的患者。具体而言, CEUS 不仅能够显示肿瘤体积的动态变化, 更重要的是通过实时观察微血管灌注模式的改变, 精准反映肿瘤治疗反应的生理和病理学变化[28]。一项针对 2014 年 3 月至 2018 年 10 月接受 NAC 治疗的局部晚期乳腺癌患者的研究显示, 通过 CEUS 检查获得的早期血流动力学改变(如峰值强度降低和达峰时间延长)及基线肿瘤负荷(T/N 分期)可作为患者病理完全缓解(pCR)与无复发生存期(RFS)的独立预测因子。该研究利用逻辑回归分析和 Cox 比例风险模型证实, CEUS 具有三方面的重要临床价值: 其一, 能够在 NAC 早期预测病理完全缓解情况, 从而及时识别治疗效果欠佳的患者; 其二, 协助实现患者复发风险的分层管理; 其三, 为个体化治疗方案调整提供可靠的影像学依据[29]。由此, 临床医生可以及时灵活地调整治疗方案, 避免无效治疗的持续, 最终有效提升患者整体治疗效果。此外, 已有研究证实, 结合常规超声与 CEUS 技术能够准确预测 NAC 后乳腺癌患者的腋窝淋巴结状态[30]。

CEUS 技术在评估乳腺癌患者对 NAC 反应的过程中发挥着关键作用。通过清晰展现治疗后的肿瘤实质性增强模式, CEUS 能够准确评估肿瘤的体积缩小情况, 并有效预测治疗效果。尤其是将 CEUS 与肿瘤分子亚型相结合后, 可进一步提高诊断准确性, 为患者预后判断及治疗效果评估提供了重要依据[31]。此外, 近期的一些荟萃分析和系统评价也证实了 CEUS 在评估乳腺癌患者 NAC 后病理缓解情况中的良好表现, 具备较高的敏感性和特异性, 可有效预测患者的临床结局及预后状况[32]。随着技术的不断进步与临床数据的持续积累, CEUS 有望成为乳腺癌新辅助化疗疗效评价的重要工具, 为乳腺癌的精准化治疗提供坚实的影像学支持。

#### 5. 总结与展望

超声造影因其无创性和实时动态成像优势, 已成为乳腺癌诊疗的重要技术手段。在诊断方面, CEUS 通过显示肿瘤微血管灌注的差异, 有效提高乳腺病灶良恶性的鉴别能力, 尤其对传统 X 线检查漏诊的病

灶有重要补充作用。典型恶性征象如向心性不均匀增强、蟹足样血管和造影后病灶扩大,有助于乳腺癌的早期识别。此外,CEUS 定量参数还可揭示乳腺癌分子亚型的生物学特征,为乳腺癌无创分子分型提供重要依据。在治疗监测方面,CEUS 革新了 NAC 的疗效评估方式。此外,CEUS 在预后评估中也提供了客观指标,便于早期识别并强化高危患者的管理。然而,CEUS 的临床推广尚存四大挑战:一是技术标准化不足,影响多中心数据比较;二是对重度致密乳腺及导管原位癌的诊断能力有限;三是定量分析软件差异明显,难以互认结果;四是操作者经验依赖性较强,导致诊断结果存在主观性和变异性。因此,未来研究需关注以下四个方向:开发靶向 HER2 或 VEGFR 的分子探针,实现乳腺癌“可视化病理”;构建 CEUS 三维成像与人工智能相结合的预测模型;制定国际统一的操作标准;开展大规模前瞻性临床研究,验证其在乳腺癌筛查与预后优化中的价值。随着技术瓶颈不断突破,CEUS 有望推动乳腺癌诊疗从传统形态学评估走向基于功能影像的个体化精准管理。其实时动态监测肿瘤微循环变化的能力,将进一步缩短治疗决策时间窗,更有效地实现精准干预和高危人群管理,最终提高乳腺癌患者的生存质量。

## 参考文献

- [1] Siegel, R.L., Kratzer, T.B., Giaquinto, A.N., Sung, H. and Jemal, A. (2025) Cancer Statistics, 2025. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **75**, 10-45. <https://doi.org/10.3322/caac.21871>
- [2] Zheng, R.S., Chen, R., Han, B.F., et al. (2024) Cancer Incidence and Mortality in China, 2022. *Chinese Journal of Oncology*, **46**, 221-231.
- [3] Zheng, R., Zhang, X., Liu, B., Zhang, Y., Shen, H., Xie, X., et al. (2023) Comparison of Non-Radiomics Imaging Features and Radiomics Models Based on Contrast-Enhanced Ultrasound and Gd-EOB-DTPA-Enhanced MRI for Predicting Microvascular Invasion in Hepatocellular Carcinoma within 5 cm. *European Radiology*, **33**, 6462-6472. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09789-5>
- [4] Strobel, D., Agaimy, A., Jesper, D., Zundler, S. and Schellhaas, B. (2023) HCCs Lacking Arterial Phase Hyperenhancement (APHE) on Contrast-Enhanced Ultrasound—A Diagnostic Challenge. Findings from the Prospective Multicenter DEGUM CEUS HCC Trial. *European Journal of Ultrasound*, **44**, 606-613. <https://doi.org/10.1055/a-2034-1911>
- [5] Boca Bene, I., Dudea, S.M. and Ciurea, A.I. (2021) Contrast-Enhanced Ultrasonography in the Diagnosis and Treatment Modulation of Breast Cancer. *Journal of Personalized Medicine*, **11**, Article 81. <https://doi.org/10.3390/jpm11020081>
- [6] Tao, Z., Qi, H. and Ma, Y. (2023) Diagnostic Efficacy of Ultrasound Elastography and Dynamic Contrast-Enhanced MR in Benign and Malignant Breast Masses. *American Journal of Translational Research*, **15**, 2870-2877.
- [7] Li, H., Chen, L., Liu, M., Bao, M., Zhang, Q. and Xu, S. (2024) Diagnostic Value of Multimodal Ultrasound for Breast Cancer and Prediction of Sentinel Lymph Node Metastases. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, **12**, Article 1431883. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1431883>
- [8] Zhang, N., Sun, L., Chen, X., Song, H., Wang, W. and Sun, H. (2024) Meta-Analysis of Contrast-Enhanced Ultrasound in Differential Diagnosis of Breast Adenosis and Breast Cancer. *Journal of Clinical Ultrasound*, **52**, 1402-1418. <https://doi.org/10.1002/jcu.23803>
- [9] 刘琳琳, 程启帆, 王鑫雅, 等. 超声造影技术在评估肝脏血管异常中的应用进展[J]. 肝脏, 2025, 30(4): 568-571.
- [10] Ito, T., Manabe, H., Kubota, M. and Komoike, Y. (2024) Current Status and Future Perspectives of Contrast-Enhanced Ultrasound Diagnosis of Breast Lesions. *Journal of Medical Ultrasonics*, **51**, 611-625. <https://doi.org/10.1007/s10396-024-01486-0>
- [11] Rix, A., Piepenbrock, M., Flege, B., von Stillfried, S., Koczera, P., Opacic, T., et al. (2021) Effects of Contrast-Enhanced Ultrasound Treatment on Neoadjuvant Chemotherapy in Breast Cancer. *Theranostics*, **11**, 9557-9570. <https://doi.org/10.7150/thno.64767>
- [12] 宋玥昊, 蒲顺帆, 牛丽娟. 超声及人工智能评估甲状腺癌被膜及被膜外侵犯的研究进展[J]. 癌症进展, 2025, 23(11): 1241-1243.
- [13] Li, L., Burgio, M.D., Fetzer, D.T., Ferraioli, G., Lyshchik, A., Meloni, M.F., et al. (2025) Contrast-Enhanced Ultrasound for Hepatocellular Carcinoma Diagnosis—AJR Expert Panel Narrative Review. *American Journal of Roentgenology*. <https://doi.org/10.2214/ajr.25.32813>
- [14] Zhu, Y., Zhang, D., Wang, X., Chen, Y., Pan, M., Guerrini, S., et al. (2025) Diagnostic Test of Conventional Ultrasonography Combined with Contrast-Enhanced Ultrasound in the Subcategorization of Suspicious Breast Imaging-Reporting and Data System (BI-RADS) 4 Breast Lesions. *Translational Cancer Research*, **14**, 2066-2077.

- <https://doi.org/10.21037/tcr-2025-485>
- [15] Liu, B., He, H., Zhao, Y., Cui, Y. and Wang, J. (2024) The Diagnostic Value of Two-Dimensional Ultrasound Score, Contrast-Enhanced Ultrasound Score and Ultrasound Elastography Score in Prostate Cancer. *Translational Andrology and Urology*, **13**, 1805-1813. <https://doi.org/10.21037/tau-24-137>
  - [16] Li, C., Qi, L., Geng, C., Xiao, H., Wei, X., Zhang, T., *et al.* (2025) Comparative Diagnostic Performance of Color Doppler Flow Imaging, Microflow Imaging and Contrast-Enhanced Ultrasound in Solid Renal Tumors. *Academic Radiology*, **32**, 3475-3484. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.12.057>
  - [17] Mehta, L.S., Watson, K.E., Barac, A., Beckie, T.M., Bittner, V., Cruz-Flores, S., *et al.* (2018) Cardiovascular Disease and Breast Cancer: Where These Entities Intersect: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*, **137**, e30-e66. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000556>
  - [18] Sarvetamin, H.T. (2025) Determining Breast Density in Patients with Metabolic Syndrome: A Cross Sectional Study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, **17**, S302-S304. [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_1954\\_24](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1954_24)
  - [19] 牛丁忍, 李志翔, 杨青, 等. 两样本孟德尔随机化分析乳腺癌与骨质疏松症的因果关系[J]. 中国骨质疏松杂志, 2025, 31(1): 55-61.
  - [20] 赵雅琪, 刘春萍. 基于孟德尔随机化法的自身免疫性疾病与乳腺癌发病风险相关性探讨[J]. 现代肿瘤医学, 2024, 32(21): 4084-4089.
  - [21] Hovda, T., Hoff, S.R., Larsen, M., Romundstad, L., Sahlberg, K.K. and Hofvind, S. (2022) True and Missed Interval Cancer in Organized Mammographic Screening: A Retrospective Review Study of Diagnostic and Prior Screening Mammograms. *Academic Radiology*, **29**, S180-S191. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2021.03.022>
  - [22] Oshino, T., Enda, K., Shimizu, H., Sato, M., Nishida, M., Kato, F., *et al.* (2025) Artificial Intelligence Can Extract Important Features for Diagnosing Axillary Lymph Node Metastasis in Early Breast Cancer Using Contrast-Enhanced Ultrasonography. *Scientific Reports*, **15**, Article No. 5648. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90099-9>
  - [23] Zhou, S.C., Le, J., Zhou, J., Huang, Y., Qian, L. and Chang, C. (2020) The Role of Contrast-Enhanced Ultrasound in the Diagnosis and Pathologic Response Prediction in Breast Cancer: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Clinical Breast Cancer*, **20**, e490-e509. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2020.03.002>
  - [24] Saleh, G.A., Batouty, N.M., Gamal, A., Elnakib, A., Hamdy, O., Sharafeldein, A., *et al.* (2023) Impact of Imaging Biomarkers and AI on Breast Cancer Management: A Brief Review. *Cancers*, **15**, Article No. 5216. <https://doi.org/10.3390/cancers15215216>
  - [25] Gong, X., Li, Q., Gu, L., Chen, C., Liu, X., Zhang, X., *et al.* (2023) Conventional Ultrasound and Contrast-Enhanced Ultrasound Radiomics in Breast Cancer and Molecular Subtype Diagnosis. *Frontiers in Oncology*, **13**, Article 1158736. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1158736>
  - [26] Wen, B., Kong, W., Zhang, Y., Xue, H., Wu, M. and Wang, F. (2022) Association between Contrast-Enhanced Ultrasound Characteristics and Molecular Subtypes of Breast Cancer. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **41**, 2019-2031. <https://doi.org/10.1002/jum.15886>
  - [27] Liu, Q., Tang, L. and Chen, M. (2021) Ultrasound Strain Elastography and Contrast-Enhanced Ultrasound in Predicting the Efficacy of Neoadjuvant Chemotherapy for Breast Cancer: A Nomogram Integrating Ki-67 and Ultrasound Features. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **41**, 2191-2201. <https://doi.org/10.1002/jum.15900>
  - [28] 汪越君, 吴仲兰. 乳腺癌病理预后因子表达及腋窝淋巴转移状态下的超声造影定性、弹性成像定量特征分析[J]. 南昌大学学报(医学版), 2025, 65(2): 70-76.
  - [29] Wan, C., Zhou, L., Li, H., Wang, L., Li, F., Yin, W., *et al.* (2023) Multiparametric Contrast-Enhanced Ultrasound in Early Prediction of Response to Neoadjuvant Chemotherapy and Recurrence-Free Survival in Breast Cancer. *Diagnostics*, **13**, Article 2378. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13142378>
  - [30] Han, X., Jin, S., Yang, H., Zhang, J., Huang, Z., Han, J., *et al.* (2021) Application of Conventional Ultrasonography Combined with Contrast-Enhanced Ultrasonography in the Axillary Lymph Nodes and Evaluation of the Efficacy of Neoadjuvant Chemotherapy in Breast Cancer Patients. *The British Journal of Radiology*, **94**, Article 20210520. <https://doi.org/10.1259/bjr.20210520>
  - [31] Kim, Y., Kim, S.H., Song, B.J., Kang, B.J., Yim, K., Lee, A., *et al.* (2018) Early Prediction of Response to Neoadjuvant Chemotherapy Using Dynamic Contrast-Enhanced MRI and Ultrasound in Breast Cancer. *Korean Journal of Radiology*, **19**, 682-691. <https://doi.org/10.3348/kjr.2018.19.4.682>
  - [32] Jia, K., Li, L., Wu, X.J., Hao, M.J. and Xue, H.Y. (2019) Contrast-Enhanced Ultrasound for Evaluating the Pathologic Response of Breast Cancer to Neoadjuvant Chemotherapy. *Medicine*, **98**, e14258. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000014258>