



· 综述 ·

超声在乳腺癌分子分型预测中的研究进展

郑茵^{1, 2, 3}, 蒋添^{2, 3, 4}, 闫玉琪^{2, 3, 4}, 林怡甜³, 王立平², 徐栋^{2, 3}

1. 浙江中医药大学第二临床医学院, 浙江 杭州 310022;
2. 浙江省肿瘤医院超声医学科, 浙江 杭州 310005;
3. 温岭市医学大数据与人工智能研究院, 浙江 台州 317502;
4. 温州医科大学研究生培养基地(浙江省肿瘤医院), 浙江 杭州 310005

[摘要] 乳腺癌在分子水平上呈现高度异质性, 乳腺癌分子分型对治疗方案的选择和患者预后评估至关重要。超声技术作为无创、便捷的诊断方法在乳腺癌筛查和诊断中具有重要地位。目前, 常规二维超声、彩色多普勒超声、弹性成像以及超声造影等技术已显示出在乳腺癌分子分型诊断中的应用潜力。通过分析肿块形态、边界特性、血流信号、组织硬度及微血管分布等超声特征, 结合人工智能模型, 有望提高乳腺癌分子亚型的无创、精准的诊断能力。本文就超声技术在判断乳腺癌分子分型中的研究进展进行综述。

[关键词] 乳腺癌; 超声; 分子分型

中图分类号: R737.9; R445.1 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2025.01.012

Research progress of ultrasound in molecular typing prediction of breast cancer ZHENG Yin^{1, 2, 3}, JIANG Tian^{2, 3, 4}, YAN Yuqi^{2, 3, 4}, LIN Yitian³, WANG Liping², XU Dong^{2, 3} (1. The Second Clinical College of Zhejiang Chinese Medicine University, Hangzhou 310022, Zhejiang Province, China; 2. Department of Ultrasound, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310005, Zhejiang Province, China; 3. Wenling Institute of Medical Big Data and Artificial Intelligence, Taizhou 317502, Zhejiang Province, China; 4. Graduate Training Base of Wenzhou Medical University, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310005, Zhejiang Province, China)

Correspondence to: XU Dong E-mail: xudong@zjcc.org.cn

[Abstract] Breast cancer is highly heterogeneous at the molecular level, and molecular classification of breast cancer is very important for treatment selection and prognosis assessment. As a non-invasive and convenient diagnostic method, ultrasound plays an important role in breast cancer screening and diagnosis. By analyzing ultrasound image features and artificial intelligence modeling, medical personnel are expected to achieve non-invasive and accurate diagnosis of breast cancer molecular subtypes. This article reviewed the progress of ultrasonography in determining molecular typing of breast cancer.

[Key words] Breast cancer; Ultrasound; Molecular typing

乳腺癌发病率逐年上升, 已成为危害全球女性健康的第一大恶性肿瘤^[1]。在分子水平上, 乳腺癌表现出高度异质性, 确定乳腺癌的分子分型对于患者治疗方案的选择和预后评估至关重要^[2]。目前, 确定乳腺癌的分子分型

主要依赖于活组织病理学检查, 根据肿瘤雌激素受体(estrogen receptor, ER)、孕激素受体(progesterone receptor, PR)、人表皮生长因子受体蛋白2(human epidermal growth factor receptor2, HER2)以及Ki-67增殖指数, 将乳腺

基金项目: 无。

利益冲突: 无。

伦理批件: 不需要。

知情同意: 不需要。

引用本文: 郑茵, 蒋添, 闫玉琪, 等. 超声在乳腺癌分子分型预测中的研究进展 [J]. 肿瘤影像学, 2025, 34(1): 86-91.

Funding: no.

Conflicts of interest: no.

Ethical approval: not required.

Informed consent: not required.

Cite this article: ZHENG Y, JIANG T, YAN Y Q, et al. Research progress of ultrasound in molecular typing prediction of breast cancer [J]. Oncoradiology, 2025, 34(1): 86-91.

癌分为Luminal A型、Luminal B型、HER2过表达型、三阴性乳腺癌（triple-negative breast cancer, TNBC）4种不同的分子亚型。不同分型乳腺癌组织病理学、生物学行为差异较大，导致其影像学特征亦存在差异性。超声作为一种无创、便捷的诊断方法，包括常规超声、弹性成像、超声造影（contrast-enhanced ultrasound, CEUS）等技术，在乳腺癌的筛查及诊断中具有重要地位。同时，随着科技发展，人工智能在影像诊断领域发挥愈来愈重要的作用，使用基于超声图像训练的深度学习模型，在乳腺肿瘤检测和分类、判断转移和预后等方面取得了令人满意的效果^[3-5]。近年来，如何通过分析超声图像以及人工智能建模术前无创预测乳腺癌分子亚型成为研究热点，笔者就超声技术在判断乳腺癌分子分型中的研究进展进行综述。

1 常规超声

常规乳腺超声包括常规二维灰阶超声和彩色多普勒血流成像（color Doppler flow imaging, CDFI）。医师通过观察病灶形态、生长方位、边缘特性、内部回声、后方回声和钙化特征等评估病灶性质。研究^[6]表明，超声特征可用于识别乳腺癌不同分子亚型。Ian等^[7]对328例乳腺癌患者的超声图像进行评估，结果显示Luminal型（包括Luminal A型、Luminal B型）的病灶通常呈不规则形态，边界模糊呈毛刺状，后方回声衰减较为明显^[8]，单变量和多变量回归分析进一步证实，毛刺状边缘与Luminal型的关联性较强（单变量： $P=0.000$ ，OR=4.16；多变量： $P=0.03$ ，OR=2.20）；后方回声衰减同样与激素受体阳性密切相关（ $P=0.037$ ，OR=4.26）。Wu等^[9]对311例不同亚型乳腺癌患者的回顾性分析显示，HER2过表达型更多表现为不规则形态、边缘不清，且在CDFI中呈现更丰富的血流信号（73.3%， $P=0.038$ ）。此外，HER2过表达型更常伴有钙化（57.8%），而TNBC亚型则钙化较少（26.4%）。这与多位学者^[10-12]指出HER2过表达型肿瘤具有较高的钙化发生率的结论相同，这可能与HER2过表达肿瘤生长迅速、局部血供不足，致癌灶局部组织发生坏死形成钙盐沉积有

关^[13]。TNBC则多呈现规则形态、边界清晰、钙化少见、乏血供等特征^[14]，与良性肿块的声音特征相似。

超微血管成像（superb microvascular imaging, SMI）是一种新型超声成像技术，能够检测低速血流信号，且几乎不受角度影响^[15]，与彩色多普勒超声或能量多普勒超声相比，SMI更为灵敏，分辨率更高，可通过血管指数（vascular index, VI）进一步区分乳腺肿块的良好性^[16-17]。研究^[18]显示，结合常规超声与SMI能够帮助更准确地判定乳腺癌的分子分型，其中Luminal A型乳腺癌，VI的截断值为4.1%，灵敏度为79.9%，特异度为41.5%，曲线下面积（area under curve, AUC）为0.58；而TNBC，VI的截断值为16.4%，灵敏度为30.0%，特异度为90.3%，AUC为0.60。

不同亚型乳腺癌在常规超声声像图上具有一定特异性的征象，但常规超声提供的信息有限，受检查医师操作经验水平、检查仪器等影响较大，对判别不同亚型乳腺癌起到的参考作用有限，不同亚型的乳腺癌超声声像图特征存在重叠，导致漏诊误诊。有文献^[19]报道，常规超声在乳腺癌亚型鉴别中的灵敏度和阳性预测值较低，多因素logistic回归分析中不同亚型的超声特征预测灵敏度为8.4%~57.3%，阳性预测值为9.5%~53.3%。因此，超声诊断医师可选择结合新型超声技术，有助于提高乳腺癌亚型的诊断准确度和灵敏度。

2 弹性成像

弹性成像主要包括应变弹性成像（strain elastography, SE）、剪切波弹性成像（shear wave elastography, SWE），用于评估乳腺病灶的硬度、范围以及病灶周围组织的同质性^[20]。SE通过外力使组织产生形变，利用弹性评分和应变率比值进行评估。而SWE通过探头发射声辐射脉冲产生剪切波，可定量评估组织硬度，结果相对客观，应用也较为广泛。最大弹性值（ E_{max} ）是SWE用于定量评估组织硬度的重要参数，但大部分研究^[21]结论一致性较低。有研究^[22]指出，ER阳性、PR阳性和HER2阳性的肿瘤显示较

低的 E_{\max} 值,而高Ki-67增殖指数组的 E_{\max} 值则通常较高。Ki-67增殖指数高常见于Luminal B型、HER2过表达型及TNBC,而Luminal A型通常伴随较低的Ki-67增殖指数。这可能与Ki-67增殖指数高,肿瘤细胞较为活跃且增长迅速相关,不断向细胞外基质黏附和侵袭,导致肿块与周围组织发生粘连,肿块硬度值增加。

陈媛娴等^[23]评估了这4种亚型的硬度,认为Luminal A型的剪切波速度最低,Luminal B型剪切波速度最高,而文献^[24]则指出TNBC的剪切波速度最低,这可能与该亚型具有较少的细胞和间质成分相关,导致肿瘤组织相对较软。尽管这些发现揭示了剪切波速度在不同亚型乳腺癌中的潜在应用,但目前关于弹性成像区分不同亚型乳腺癌的诊断效能仍存在争议,未来的研究需要通过更大规模的样本和标准化的评估参数,进一步验证弹性成像在乳腺癌分型中的应用价值,以提高其临床实用性。

3 超声造影

超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)通过注射造影剂可以更清晰地显示组织内部的微循环灌注情况,因而在乳腺癌的诊断、疗效评估及腋窝淋巴结转移的判断中广泛应用。不同分子亚型的乳腺癌在CEUS方面的表现也各有不同。

3.1 定性分析

(1) 增强模式。增强模式强调了造影剂进入肿块内部的方式。Luminal型多为边缘放射性汇聚(76.9%, $P < 0.05$)^[25], TNBC增强时多呈边界清晰和充盈缺损(80.0%, $P < 0.05$)。此外,研究^[14]发现HER2过表达型乳腺癌较其他三者多见向心性增强($\chi^2 = 4.633$, $P = 0.031$)以及灌注缺损现象(75.0%, $P < 0.05$),这可能是由于肿瘤细胞增殖速度快,周边氧供系统未能及时建立,氧供不足导致组织内部发生坏死,因此HER2过表达型多表现为灌注缺损^[26]。

(2) 增强强度。增强强度反映组织血流灌注情况。Liang等^[27]分析发现,管腔型更倾向于表现为低增强。左文思等^[28]探究了142例乳腺癌病灶的CEUS资料,指出Luminal A型、Luminal B

型表现为低或等增强比例分别为80.8%、60.3%; HER2过表达型、TNBC高增强比例分别为90.0%、92.9%,不同亚型乳腺癌的增强强度比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。TNBC多呈快速增强的高强化灌注模式,肿瘤细胞生长迅速,间质反应推动其生长,肿瘤细胞及周边血管与外周组织之间界限清晰^[29],造影剂灌注迅速。

3.2 定量分析

CEUS定量分析是指利用专业软件对CEUS参数进行分析,如增强峰值(peak enhancement, PE)、病灶达峰时间(time to peak, TTP)、峰值强度(peak intensity, PI)、进入相斜率(wash-in slope, WIS)等。研究^[25, 30-31]表明,不同分型的AUC、TTP、PI等指标之间的差异有统计学意义,相关文献研究结论如表1所示。Luminal型的肿瘤多为低级别生长肿瘤,有丝分裂相对较慢,生成微血管能力较弱,具有较低的微血管密度,而HER2过表达者,常伴随血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)表达,VEGF促进新血管生成且增加血管内皮通透性,以及动静脉瘘形成,造影剂得以迅速进入肿瘤,这也解释了HER2过表达的肿瘤常呈现出高强化模式、TTP快、PI高的原因^[32-33]。

CEUS的定性特征及定量参数与不同乳腺癌亚型之间的相关性为临床无创性评估乳腺癌患者的预后提供依据,但CEUS定性特征存在主观性和重叠性,而目前不同研究中的定量参数也并未形成统一的标准,导致研究结果在不同中心之间难以进行直接对比,缺乏明确的参数标准限制了CEUS在临床中的广泛应用。未来需要进一步的研究和技术改进,以提高其诊断精度,扩大其临床应用价值。

4 超声人工智能

人工智能在影像学领域主要包括影像组学和深度学习,在乳腺癌的预测、分类、评估转移、预后等方面有突出作用,可以提取肉眼识别不到的细微特征^[34-37]。有研究^[38]回顾并分析了140例经手术确诊的乳腺癌患者,从超声图像中提取影像组学特征,联合临床信息构建影像

表1 不同研究的结论

Tab.1 Conclusions of different studies

文献	日期	CEUS指标	结论
梁星宇等 ^[25]	2018年	IMAX、TTP	Luminal型IMAX较低; HER2过表达型TTP较短 ($P<0.05$); TNBC灌注参数差异无统计学意义 ($P>0.05$)。
康佳等 ^[14]	2020年	WiAUC、WIS、PI	HER2过表达乳腺癌WiAUC值较高 ($P=0.031$); Ki-67增殖指数高和ER/PR阴性乳腺癌WIS、PI、WiAUC均较高 ($P=0.037$)。
Wen等 ^[30]	2022年	AUC、TTP、PI	4种亚型的增强速度和增强程度差异有统计学意义 ($P<0.05$); Luminal A亚型AUC较低, TTP较长, PI较低 ($P=0.007$); HER2和TNBC亚型AUC和PI较高, TTP较短 ($P=0.005$)。
苏荃利等 ^[31]	2020年	PE、AUC	Luminal A型的PE较低; HER2过表达型AUC较高; TNBC增强后边界清晰度 ($P<0.05$)。

IMAX: 最大强度 (maximum intensity); WiAUC: 进入相曲线下面积 (wash-in area under curve)。

组学模型以区分TNBC亚型, AUC达到0.88。Boulenger等^[35]开发基于超声图像识别TNBC的卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN), AUC为0.86 (95% CI 0.64~0.95), 准确度为85%, 灵敏度为86%, 特异度为86%。深度卷积神经网络 (deep convolutional neural network, DCNN) 是CNN的扩展, 可以捕捉更多的图像特征。Jiang等^[39]收集了1 275例原发性乳腺癌患者的4 828幅超声图像作为数据集, 并建立了以ResNet50为基础的DCNN分类模型, 在测试集中鉴别Luminal A型的准确度达到0.98, 阳性预测值为97.52%, 阴性预测值为99.31%。另一项研究^[40]利用超声图像和患者临床信息构建DCNN模型, 用于预测乳腺癌的分子亚型, 该模型区分Luminal型和非Luminal型乳腺癌的准确度、灵敏度、特异度、约登指数和AUC均高于乳腺影像报告和数据库系统模型。Huang等^[41]使用预处理超声图像和病理学图像建立了深度学习放射病理组学 (deep learning radiopathomics, DLRP) 多模态模型, 与单模态模型相比, DLRP模型在早期区分Luminal型和非Luminal型方面优势更为突出, 测试集的AUC达0.90 (95% CI 0.865~0.953) 显著高于其他单模态的测试集, 结合超声与病理学资料构建的深度学习模型具有更高的诊断能力。

随着人工智能技术的不断发展和医学数据的积累, 基于影像学的人工智能模型在辅助诊断乳腺癌亚型方面取得了显著进展, 但仍存在局限性。如影像组学依赖于对图像病灶的精准分割,

手工绘制感兴趣区不仅费时费力, 且操作者主观性影响难以避免, 而虽然深度学习模型可以直接对病灶进行精准分割, 由于存在“黑匣子效应”, 可解释性较低, 也使模型诊断结果不能使临床工作人员信服。未来研究者们应采用更庞大、更标准的样本数据, 进行多中心、多模态、多分类研究, 提高模型的鲁棒性和泛化能力, 提高模型的说服力。

5 总结与展望

综上, 基于超声技术预测乳腺癌分子亚型的研究已取得初步进展。不同分子亚型的乳腺癌声像图上表现出的不同特征以及深度学习模型的应用都展示了超声技术预测乳腺癌分子亚型的巨大潜力。然而, 未来的研究仍需要扩大研究样本量、建立更加标准化的评估体系, 以保证不同研究之间的可比性与一致性。此外, 人工智能在医疗领域的重要性日益凸显, 可将超声与其他影像学技术、临床数据结合, 构建多模态综合超声评估模型, 以提高鉴别乳腺癌分子分型的准确度和临床应用价值。通过结合人工智能, 超声技术有望在乳腺癌分子分型的无创诊断中发挥更大作用, 并推动个性化治疗的进一步发展^[42-44]。

第一作者:

郑茵 (ORCID:0009-0008-2263-2865), 在读硕士。

通信作者:

徐栋 (ORCID: 0000-0002-0583-240X), 博士, 主任医师, E-mail: xudong@zjcc.org.cn。

作者贡献声明:

郑茵: 文献检索与整理, 文章撰写, 数据资料收集; 蒋添: 文献检索, 指导, 参与文章校对; 闫玉琪: 文献检索与整理, 文章校对与修改; 林怡甜: 文献整理, 图表制作与数据可视

化; 王立平: 指导, 行政支持; 徐栋: 指导选题, 提供对全文的审阅与修改意见。

[参 考 文 献]

- [1] BRAY F, LAVERSANNE M, SUNG H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229–263.
- [2] CEJALVO J M, PASCUAL T, FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ A, et al. Clinical implications of the non-luminal intrinsic subtypes in hormone receptor-positive breast cancer [J]. *Cancer Treat Rev*, 2018, 67: 63–70.
- [3] DENKERT C, VON MINCKWITZ G, DARB-ESFAHANI S, et al. Tumour-infiltrating lymphocytes and prognosis in different subtypes of breast cancer: a pooled analysis of 3 771 patients treated with neoadjuvant therapy [J]. *Lancet Oncol*, 2018, 19(1): 40–50.
- [4] Zheng X, Yao Z, Huang Y, et al. Deep learning radiomics can predict axillary lymph node status in early-stage breast cancer [J]. *Nat Commun*, 2020, 11(1): 1236.
- [5] BALKENENDE L, TEUWEN J, MANN R M. Application of deep learning in breast cancer imaging [J]. *Semin Nucl Med*, 2022, 52(5): 584–596.
- [6] GUMOWSKA M, MAĆZEWSKA J, PROSTKO P, et al. Is there a correlation between multiparametric assessment in ultrasound and intrinsic subtype of breast cancer? [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(22): 5394.
- [7] IAN T W M, TAN E Y, CHOTAI N. Role of mammogram and ultrasound imaging in predicting breast cancer subtypes in screening and symptomatic patients [J]. *World J Clin Oncol*, 2021, 12(9): 808–822.
- [8] RASHMI S, KAMALA S, MURTHY S S, et al. Predicting the molecular subtype of breast cancer based on mammography and ultrasound findings [J]. *Indian J Radiol Imaging*, 2018, 28(3): 354–361.
- [9] WU T, LI J, WANG D M, et al. Identification of a correlation between the sonographic appearance and molecular subtype of invasive breast cancer: a review of 311 cases [J]. *Clin Imaging*, 2019, 53: 179–185.
- [10] HUANG J, LIN Q, CUI C, et al. Correlation between imaging features and molecular subtypes of breast cancer in young women (≤ 30 years old) [J]. *Jpn J Radiol*, 2020, 38(11): 1062–1074.
- [11] DOBRUCH-SOBCZAK K, GUMOWSKA M, MAĆZEWSKA J, et al. Immunohistochemical subtypes of the breast cancer in the ultrasound and clinical aspect - literature review [J]. *J Ultrason*, 2022, 22(89): 93–99.
- [12] XU M L, ZENG S E, LI F, et al. Utilizing grayscale ultrasound-based radiomics nomogram for preoperative identification of triple negative breast cancer [J]. *La Radiol Med*, 2024, 129(1): 29–37.
- [13] 黄贵廉, 陈智毅. 乳腺癌超声征象与分子标志物的相关性研究进展 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2021, 29(1): 86–88.
- HUANG G L, CHEN Z Y. Research progress on correlation between ultrasonic signs and molecular markers of breast cancer [J]. *Chin J Med Imag*, 2021, 29(1): 86–88.
- [14] 康佳, 吴桐, 张蕾, 等. 不同分子分型乳腺癌的多模态超声特征和临床病理对照研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2020, 29(4): 330–336.
- KANG J, WU T, ZHANG L, et al. Comparative study of multimodal ultrasonographic features and clinicopathological appearances of breast cancer with different molecular subtypes [J]. *Chin J Ultrason*, 2020, 29(4): 330–336.
- [15] AZIZ M U, EISENBREY J R, DEGANELLO A, et al. Microvascular flow imaging: a state-of-the-art review of clinical use and promise [J]. *Radiology*, 2022, 305(2): 250–264.
- [16] TERNIFI R, WANG Y N, GU J J, et al. Ultrasound high-definition microvasculature imaging with novel quantitative biomarkers improves breast cancer detection accuracy [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(11): 7448–7462.
- [17] FENG J P, LU J H, JIN C C, et al. Diagnostic value of superb microvascular imaging in differentiating benign and malignant breast tumors: a systematic review and meta-analysis [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(11): 2648.
- [18] ZHANG X Y, CAI S M, ZHANG L, et al. Association between vascular index measured via superb microvascular imaging and molecular subtype of breast cancer [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 861151.
- [19] 时兆婷, 李佳伟, 盛丹丽, 等. 浸润性乳腺癌的超声影像学特征对分子亚型的预测价值 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2021, 30(12): 1064–1070.
- SHI Z T, LI J W, SHENG D L, et al. Predictive value of sonographic features on molecular subtypes of invasive breast carcinoma [J]. *Chin J Ultrason*, 2021, 30(12): 1064–1070.
- [20] PFOB A, SIDEY-GIBBONS C, BARR R G, et al. Intelligent multi-modal shear wave elastography to reduce unnecessary biopsies in breast cancer diagnosis (INSPiRED 002): a retrospective, international, multicentre analysis [J]. *Eur J Cancer*, 2022, 177: 1–14.
- [21] 赵青, 纪甜甜, 杨晓婧, 等. 乳腺癌剪切波弹性模量与分子亚型的相关性 [J]. *肿瘤学杂志*, 2020, 26(7): 655–658.
- ZHAO Q, JI T T, YANG X J, et al. Correlation between shear wave elastic modulus and molecular subtypes in breast cancer [J]. *J Chin Oncol*, 2020, 26(7): 655–658.
- [22] LIU C X, ZHOU J, CHANG C, et al. Feasibility of shear wave elastography imaging for evaluating the biological behavior of breast cancer [J]. *Front Oncol*, 2022, 11: 820102.
- [23] 陈媛嫻, 王兴田, 刘洁, 等. 声触诊组织成像定量技术所测剪切波速度与乳腺癌病理分级及分型的关系 [J]. *中国医学影像技术*, 2021, 37(6): 895–898.
- CHEN Y X, WANG X T, LIU J, et al. Relationships of shear wave velocity measured with virtual touch tissue imaging quantification technique with pathological classification and typing of breast cancer [J]. *Chin J Med Imag Technol*, 2021, 37(6): 895–898.
- [24] YINI HI, YUBO LI, WANG Y, et al. Quantitative analysis of shear wave elastic heterogeneity for prediction of lymphovascular invasion in breast cancer [J]. *Br J Radiol*, 2021, 94(1127):

- 20210682.
- [25] 梁星宇, 王鸿凤, 李紫瑶, 等. 超声造影对不同分子分型乳腺癌鉴别诊断的初步研究 [J] . 中华超声影像学杂志, 2018, 27(10): 881-886.
LIANG X Y, WANG H F, LI Z Y, et al. The preliminary research of contrast-enhanced ultrasound in differential diagnosis of different molecular subtypes of breast cancer [J] . Chin J Ultrason, 2018, 27(10): 881-886.
- [26] 李欣, 张君, 唐春霖, 等. 乳腺癌超声造影特征与临床病理特征的关系 [J] . 中华乳腺病杂志 (电子版), 2023, 17(2): 80-87.
LI X, ZHANG J, TANG C L, et al. Relationship between contrast-enhanced ultrasound characteristics and clinicopathological features of breast cancer patients [J] . Chin J Breast Dis Electron Ed, 2023, 17(2): 80-87.
- [27] LIANG X Y, LI Z Y, ZHANG L, et al. Application of contrast-enhanced ultrasound in the differential diagnosis of different molecular subtypes of breast cancer [J] . Ultrason Imaging, 2020, 42(6): 261-270.
- [28] 左文思, 金林原, 李芬穗. 超声造影对不同分子分型乳腺癌的诊断价值 [J] . 分子影像学杂志, 2019, 42(4): 423-429.
ZUO W S, JIN L Y, LI F S. Comparative study of contrast-enhanced ultrasound in different molecular breast cancers [J] . J Mol Imag, 2019, 42(4): 423-429.
- [29] LIU Q, DONG H T, ZHAO T T, et al. Cancer-associated adipocytes release FUCA2 to promote aggressiveness in TNBC [J] . Endocr Relat Cancer, 2022, 29(3): 139-149.
- [30] WEN B J, KONG W T, ZHANG Y D, et al. Association between contrast-enhanced ultrasound characteristics and molecular subtypes of breast cancer [J] . J Ultrasound Med, 2022, 41(8): 2019-2031.
- [31] 苏荃利, 李玲玲, 邓芸霞, 等. 超声造影定性特征和VueBox定量参数评估乳腺癌分子分型的应用价值 [J] . 中华超声影像学杂志, 2023, 32(5): 399-405.
SU Q L, LI L L, DENG Y X, et al. Qualitative characteristics of contrast-enhanced ultrasound and VueBox quantitative perfusion analysis of the molecular classification of breast cancer [J] . Chin J Ultrason, 2023, 32(5): 399-405.
- [32] NASIR A, HOLZER T R, CHEN M A, et al. Differential expression of VEGFR2 protein in HER2 positive primary human breast cancer: Potential relevance to anti-angiogenic therapies [J] . Cancer Cell Int, 2017, 17: 56.
- [33] 张宏, 秦丽, 蔺春红, 等. 浸润性乳腺癌多模态超声特征与临床病理特征的关系分析 [J] . 中华临床医师杂志 (电子版), 2021, 15(9): 652-659.
ZHANG H, QIN L, LIN C H, et al. Relationship between multimodal ultrasound characteristics and clinicopathological features of invasive breast cancer [J] . Chin J Clin Electron Ed, 2021, 15(9): 652-659.
- [34] YE H, HANG J, ZHANG M M, et al. Automatic identification of triple negative breast cancer in ultrasonography using a deep convolutional neural network [J] . Sci Rep, 2021, 11(1): 20474.
- [35] BOULENGER A, LUO Y W, ZHANG C H, et al. Deep learning-based system for automatic prediction of triple-negative breast cancer from ultrasound images [J] . Med Biol Eng Comput, 2023, 61(2): 567-578.
- [36] ZHOU B Y, WANG L F, YIN H H, et al. Decoding the molecular subtypes of breast cancer seen on multimodal ultrasound images using an assembled convolutional neural network model: a prospective and multicentre study [J] . EBioMedicine, 2021, 74: 103684.
- [37] 张志远, 李雯雯, 王帅, 等. 超声影像组学在乳腺肿瘤中的应用进展 [J] . 中华临床医师杂志 (电子版), 2024, 18(1): 87-90.
ZHANG Z Y, LI W W, WANG S, et al. Advancements in application of ultrasound imaging omics in breast tumors [J] . Chin J Clin Electron Ed, 2024, 18(1): 87-90.
- [38] WU T, SULTAN L R, TIAN J W, et al. Machine learning for diagnostic ultrasound of triple-negative breast cancer [J] . Breast Cancer Res Treat, 2019, 173(2): 365-373.
- [39] JIANG M, ZHANG D, TANG S C, et al. Deep learning with convolutional neural network in the assessment of breast cancer molecular subtypes based on US images: a multicenter retrospective study [J] . Eur Radiol, 2021, 31(6): 3673-3682.
- [40] LI C X, HUANG H B, CHEN Y, et al. Preoperative non-invasive prediction of breast cancer molecular subtypes with a deep convolutional neural network on ultrasound images [J] . Front Oncol, 2022, 12: 848790.
- [41] HUANG J X, SHI J, DING S S, et al. Deep learning model based on dual-modal ultrasound and molecular data for predicting response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer [J] . Acad Radiol, 2023, 30(Suppl 2): S50-S61.
- [42] SUN R, HOU X W, LI X J, et al. Transfer learning strategy based on unsupervised learning and ensemble learning for breast cancer molecular subtype prediction using dynamic contrast-enhanced MRI [J] . J Magn Reson Imaging, 2022, 55(5): 1518-1534.
- [43] ZHAO X, BAI J W, GUO Q, et al. Clinical applications of deep learning in breast MRI [J] . Biochim Biophys Acta Rev Cancer, 2023, 1878(2): 188864.
- [44] ZHANG Y, CHEN J H, LIN Y Z, et al. Prediction of breast cancer molecular subtypes on DCE-MRI using convolutional neural network with transfer learning between two centers [J] . Eur Radiol, 2021, 31(4): 2559-2567.

(收稿日期: 2024-12-19 修回日期: 2025-01-03)