



· 论 著 ·

# 多模态超声特征联合血清CEA、CK19预测乳腺癌腋窝淋巴结转移

贺玉卿<sup>1</sup>, 吴梓政<sup>1</sup>, 郭 帅<sup>1</sup>, 齐铮琴<sup>1</sup>, 徐敏哲<sup>1</sup>, 高庆壮<sup>2</sup>

1. 秦皇岛市第一医院超声医学科, 河北 秦皇岛 066001;

2. 秦皇岛市卫生学校, 河北 秦皇岛 066001

**[摘要]** 目的: 探讨多模态超声特征联合血清癌胚抗原 (carcinoembryonic antigen, CEA)、细胞角蛋白 (cytokeratin, CK) 19水平预测乳腺癌腋窝淋巴结转移。方法: 回顾并收集2023年2月—2024年8月于秦皇岛市第一医院就诊的乳腺癌患者的多模态超声特征及初诊时血清CEA、CK19的水平, 按腋窝淋巴结病理学检查结果分为转移阴性组与阳性组。比较两组患者乳腺癌原发灶的最大径、边缘、有无微钙化、是否平行位、血流显像Adler分级、剪切波弹性成像 (shear wave elastography, SWE) 的最大弹性值 ( $E_{max}$ ) 和最小弹性值 ( $E_{min}$ ) 等多模态超声特征及血清CEA、CK19的水平, 探讨多模态超声特征联合血清CEA、CK19预测乳腺癌腋窝淋巴结转移。结果: 本研究共纳入136例乳腺癌患者, 其中腋窝淋巴结转移阴性组63例, 腋窝淋巴结转移阳性组73例。经单因素比较及logistic回归分析, 乳腺癌原发灶有微钙化、Adler血流II~III级、 $E_{max}$ 值升高、血清CEA值升高是乳腺癌腋窝淋巴结转移阳性的独立预测因素。联合以上4个因素构建预测模型, 其受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线的曲线下面积 (area under curve, AUC) 为0.910 (95% CI 0.862~0.957)。结论: 乳腺癌原发灶有微钙化、Adler血流II~III级、 $E_{max}$ 值升高、血清CEA值升高提示腋窝淋巴结转移阳性的可能性更高, 由上述4个预测因素构建的logistic回归模型可以在一定程度上预测乳腺癌腋窝淋巴结转移。

**[关键词]** 乳腺癌; 超声; 淋巴结转移; 影像组学; 乳腺影像学

中图分类号: R737.9; R445.1 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2025.03.004

**基金项目:** 秦皇岛市科学技术研究与发  
展计划 (202301A199); 河北省医学科  
学研究课题计划 (20231893)。**利益冲突:** 所有作者声明无利益冲突。**伦理批件:** 2023KZ041。**知情同意:** 有。**引用本文:** 贺玉卿, 吴梓政, 郭 帅, 等.  
多模态超声特征联合血清CEA、CK19预  
测乳腺癌腋窝淋巴结转移 [J]. 肿瘤影  
像学, 2025, 34(3): 216-222.**Funding:** Science and Technology  
Research and Development Program of  
Qinhuangdao (202301A199); Medical  
Science Research Project of Hebei  
(20231893).**Conflicts of interest:** authors declare no  
conflicts of interest.**Ethical approval:** 2023KZ041.**Informed consent:** available.**Cite this article:** HE Y Q, WU Z Z, G S, et  
al. Multimodal ultrasound features combined  
with serum CEA and CK19 to predict axillary  
lymph node metastasis of breast cancer [J].  
Oncoradiology, 2025, 34(3): 216-222.

## Multimodal ultrasound features combined with serum CEA and CK19 to predict axillary lymph node metastasis of breast cancer

HE Yuqing<sup>1</sup>, WU Zizheng<sup>1</sup>, GUO Shuai<sup>1</sup>, QI Zhengqin<sup>1</sup>, XU Minzhe<sup>1</sup>, GAO Qingzhuang<sup>2</sup>  
(1. Department of Ultrasound, The First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066001, Hebei Province, China;  
2. Qinhuangdao Health School, Qin Huangdao 066001, Hebei Province, China)

Correspondence to: QI Zhengqin E-mail: E-mail: qzqh27@sina.com

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the predictive value of multimodal ultrasound features combined with serum carcinoembryonic antigen (CEA) and cytokeratin (CK)19 levels for axillary lymph node metastasis in breast cancer. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on breast cancer patients in The First Hospital of Qinhuangdao from February 2023 to August 2024, assessing their multimodal ultrasound features and serum CEA and CK19 levels at initial diagnosis. According to the pathological results of axillary lymph nodes, patients were categorized into a metastasis-negative group and a metastasis-positive group. Comparative analyses were performed between the two groups regarding the maximum diameter of the primary breast lesion, margin characteristics, presence of microcalcifications, orientation (parallel or non-parallel based on the length-to-width ratio), Adler classification of blood flow imaging, and shear wave elastography parameters ( $E_{max}$  and  $E_{min}$  values). Additionally, serum CEA and

CK19 levels were evaluated. The predictive value of combining multimodal ultrasound features with serum CEA and CK19 levels for axillary lymph node metastasis was explored. **Results:** This study included a total of 136 breast cancer patients, including 63 cases in the axillary lymph node metastasis-negative group and 73 cases in the metastasis-positive group. Univariate analysis and logistic regression identified the presence of microcalcifications in the primary breast lesion, Adler grade II-III blood flow, elevated  $E_{\max}$  values, and increased serum CEA levels as independent predictors of axillary lymph node metastasis in breast cancer. A predictive model was constructed based on these four factors, achieving an area under the curve (AUC) of 0.910 (95% CI 0.862–0.957). **Conclusion:** The presence of microcalcifications in the primary breast lesion, Adler grade II-III blood flow, elevated  $E_{\max}$  values, and increased serum CEA levels indicate a higher likelihood of axillary lymph node metastasis in breast cancer. A logistic regression model constructed with these four predictive factors demonstrates potential for predicting axillary lymph node metastasis in breast cancer.

[ **Key words** ] Breast cancer; Ultrasound; Lymphatic metastasis; Radiomics; Breast imaging

乳腺癌是全球女性最常见的恶性肿瘤，其发病率和死亡率在多个国家和地区持续居高不下<sup>[1]</sup>。早期筛查与精准诊断乳腺癌，是降低其死亡率、改善患者预后的重要手段。腋窝淋巴结转移是乳腺癌的关键预后指标，通常标志着疾病进展至中晚期，不仅影响患者预后，还显著增加疾病复发和死亡的风险。研究<sup>[2]</sup>表明，腋窝淋巴结阳性患者的生存率明显低于阴性患者。因此，准确评估腋窝淋巴结转移状态对治疗决策和患者管理至关重要。

多模态超声技术如常规二维超声、彩色多普勒血流成像（color Doppler flow imaging, CDFI）和剪切波弹性成像（shear wave elastography, SWE）在乳腺疾病的诊断中展现了无创、安全、精确和经济的优势<sup>[3]</sup>。这些技术通过不同的成像机制提供了关于肿瘤特征的丰富信息，有助于提高乳腺癌的早期检出率。尤其是在评估肿瘤的血流状态和组织硬度方面，CDFI和SWE提供了更为细致的信息，为临床医师明确诊断疾病提供了可靠依据。癌胚抗原（carcinoembryonic antigen, CEA）和细胞角蛋白（cytokeratin, CK）19是乳腺癌临床管理中常用的肿瘤标志物<sup>[4]</sup>，通过监测血清中这两种标志物的变化，医师可以动态评估疾病进展及治疗效果，进而调整治疗策略，尤其是在病情复杂的中晚期患者中，具有重要的临床意义。

本研究将结合多模态超声特征与血清CEA、CK19，旨在揭示多模态超声特征与肿瘤标志物在乳腺癌腋窝淋巴结转移中的潜在关联。通过这一探索，研究希望为作出科学而个体化的临床决

策提供依据，提高乳腺癌患者的诊断准确度及治疗效果。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

收集2023年2月—2024年8月于秦皇岛市第一医院接受乳腺癌原发灶及腋窝淋巴结病理学活检的女性乳腺癌患者。按腋窝淋巴结转移与否分为转移阴性组与阳性组。研究对象纳入标准：①女性；②乳腺原发灶及腋窝淋巴结（含双侧）已行病理学检查，原发灶确诊为乳腺癌；③所有患者首次抗癌治疗前均已行二维超声、CDFI、SWE及血清CEA、CK19检查；④临床资料完整。排除标准：①患者合并患有其他癌症；②既往进行过假体/隆胸手术。本研究经医院伦理委员会审批通过（2023KZ041），纳入研究的患者均已签署知情同意书。

### 1.2 超声检查

患者取仰卧位，双臂外展上伸，充分暴露乳腺。采用法国SuperSonic Imagine公司的AixPlorer超声诊断仪，使用频率为4~15 MHz的线阵探头，检查并记录患者乳腺癌肿块最大径、边缘、有无微钙化、是否平行位等超声特征。

切换至CDFI模式，选择血流丰富的切面对清晰稳定的图像行Adler血流分级<sup>[5]</sup>。

切换至SWE模式，嘱患者屏气3~5 s，选择稳定图像以Q-Box trace软件测量目标病灶的最大弹性值 $E_{\max}$ 和最小弹性值 $E_{\min}$ ，测量3次后取平均值。

### 1.3 CEA、CK19检查

由护士抽取患者空腹静脉血3 mL, 送检验科离心后取血清, 使用化学发光免疫分析法检测CEA和CK19水平, 并出具正式报告。

### 1.4 病理学检查

穿刺或手术标本经脱水、浸蜡后制成4  $\mu\text{m}$ 薄片, 行HE染色, 由病理科医师根据显微镜下所见结果出具诊断报告。

### 1.5 统计学处理

采用SPSS 22.0软件完成统计学分析, 计数资料以 $n(\%)$ 描述, 采用 $\chi^2$ 检验进行组间比较。符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 描述, 以Levene法和Kolmogorov-Smirnov法确认方差齐性和正态性后, 组间比较采用 $t$ 检验。将单因素比较中差异有统计学意义的变量作为自变量, 将腋窝淋巴结转移阴性与阳性作为因变量行logistic回归分析, 构建预测模型, 绘制受试者工作特征 (receiver

operating characteristic, ROC) 曲线, 计算曲线下面积 (area under curve, AUC)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 乳腺癌腋窝淋巴结转移阴性组与阳性组单因素比较

本研究共纳入136例乳腺癌患者作为研究对象, 共136个原发灶, 年龄36~73岁, 平均年龄(53.3  $\pm$  11.7)岁, 其中腋窝淋巴结转移阴性组63例, 腋窝淋巴结转移阳性组73例(图1、2)。单因素比较, 阴性组与阳性组在原发灶有无微钙化、Adler血流分级、 $E_{\text{max}}$ 及CEA等因素的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。而原发灶最大径、肿块边界、纵横比、 $E_{\text{min}}$ 、CK19等因素的差异无统计学意义( $P > 0.05$ , 表1、2)。

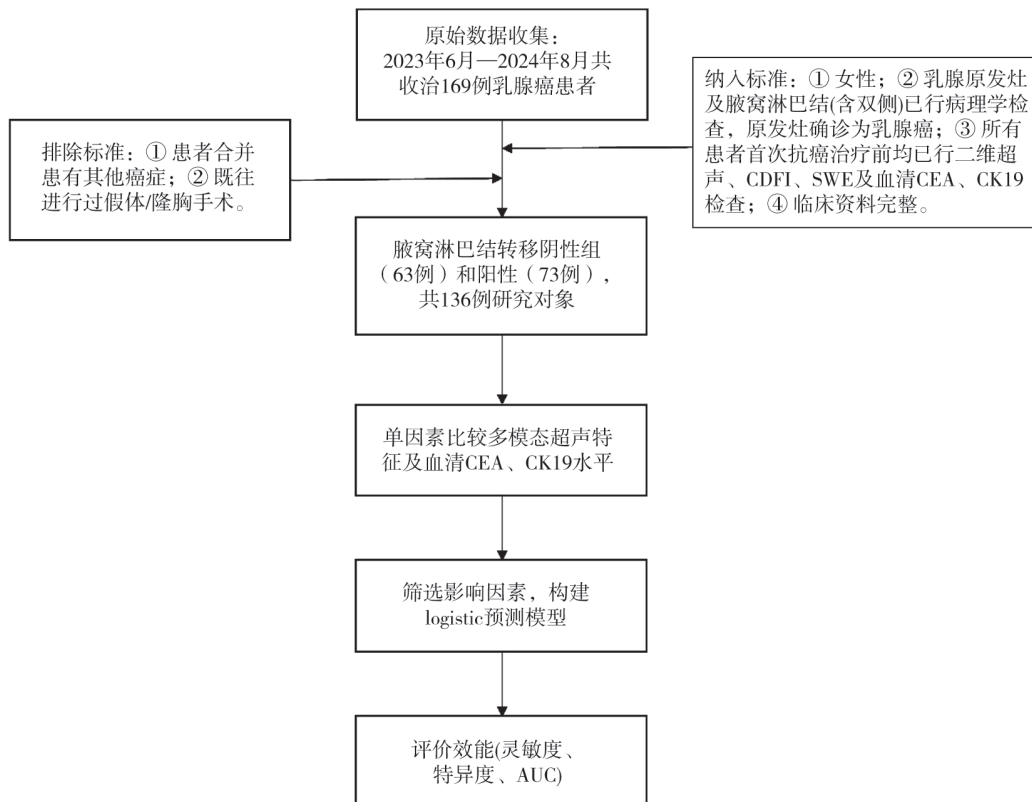


图1 研究设计流程图

Fig.1 Research design flowchart

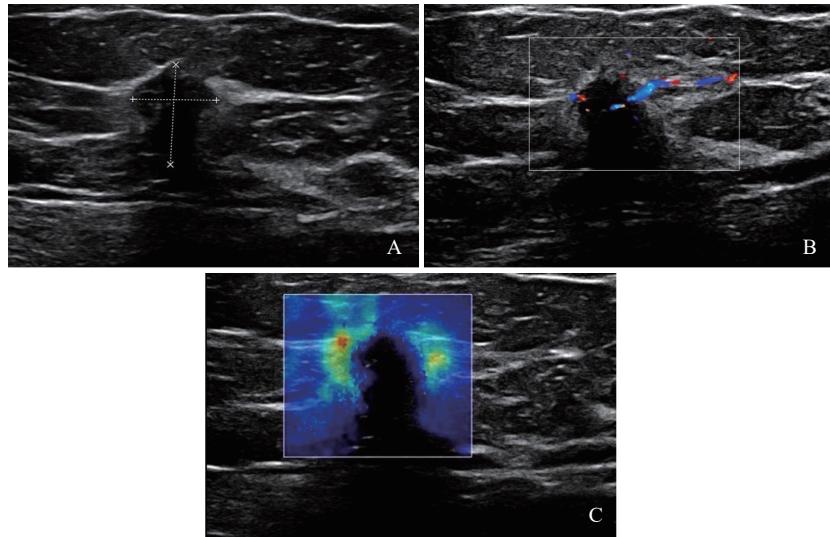


图2 左腋窝淋巴结转移患者的超声图像

Fig.2 Ultrasound images of patients with left axillary lymph node metastasis

A: 超声声像图示左乳外上象限探及大小约1.0 cm × 1.3 cm不均质低回声区，边界清，形态不规则，后方回声衰减，可见微钙化，病理学检查结果示左乳浸润性导管癌及左腋窝淋巴结转移性癌，CEA17.7 μg/L，CK19为16.7 μg/L；B: CDFI示Adler血流分级Ⅱ级；C: SWE示 $E_{max}$ 值167.7 kPa， $E_{min}$ 值14.7 kPa。

表1 乳腺癌腋窝淋巴结转移阴性组与阳性组单因素比较

Tab.1 Univariate analysis of axillary lymph node metastasis in breast cancer

单因素特征	阴性组 (n=63)	阳性组 (n=73)	$\chi^2$ 值	$n$ (%) P值
最大径			0.19	0.702
≤2 cm	47 (74.6)	52 (71.2)		
>2 cm	16 (25.4)	21 (28.8)		
边缘			2.22	0.162
光整	19 (30.2)	14 (19.2)		
不光整	44 (69.8)	59 (80.8)		
微钙化			5.53	0.025
无	36 (57.1)	27 (37.0)		
有	27 (42.9)	46 (63.0)		
平行位			1.19	0.301
是	30 (47.6)	28 (38.4)		
否	33 (52.4)	45 (61.6)		
Adler血流分级			6.23	0.016
0~Ⅰ级	35 (55.6)	25 (34.2)		
Ⅱ~Ⅲ级	28 (44.4)	48 (65.8)		

表2 乳腺癌腋窝淋巴结转移阴性组与阳性组单因素比较的t检验

Tab.2 Comparison of quantitative data between axillary lymph node metastasis negative and positive groups

组别	$E_{max}$ /kPa	$E_{min}$ /kPa	CEA/ (μg·L <sup>-1</sup> )	CK19/ (μg·L <sup>-1</sup> )
阴性组	142.03 ± 18.47	12.54 ± 2.47	11.28 ± 2.48	14.82 ± 2.22
阳性组	154.25 ± 23.41	13.17 ± 2.36	15.69 ± 3.19	15.15 ± 2.30
t值	-3.339	-1.530	-9.035	-0.856
P值	0.001	0.129	<0.001	0.394

## 2.2 多模态超声特征、 $E_{\max}$ 、CEA与乳腺癌腋窝淋巴结转移的关系

对单因素比较中有显著性差异的变量: 有无微钙化和Adler血流分级分别赋值(原发灶无微钙化=0, 有微钙化=1; Adler血流分级0~I

级=0, II~III级=1),  $E_{\max}$ 与CEA取实测值, 行Logistic回归分析。结果显示, 原发灶有微钙化、Adler血流II~III级、 $E_{\max}$ 值升高、血清CEA值升高是乳腺癌腋窝淋巴结转移阳性的独立危险因素( $P<0.05$ , 表3)。

表3 Logistic回归分析多模态超声特征、 $E_{\max}$ 、CEA与乳腺癌腋窝淋巴结转移的关系

项目	B	SE	Wald	P值	OR值	95% CI
有微钙化	1.106	0.515	4.609	0.032	3.024	1.101~8.303
Adler II~III级	1.635	0.561	8.501	0.004	5.129	1.709~15.395
$E_{\max}$ 值增高	0.041	0.013	10.374	0.001	1.042	1.016~1.068
血清CEA增高	0.690	0.134	26.516	<0.001	1.995	1.534~2.594

建立预测方程:  $\text{logit}(P) = -16.423 + 1.106 \times \text{有微钙化} + 1.625 \times \text{Adler血流分级II~III级} + 0.041 \times \text{E}_{\max}\text{值增高} + 0.690 \times \text{CEA值增高}$ , AUC为0.910(95% CI 0.862~0.957)(图3)。该方程以0.056为截断值, 预测乳腺癌腋窝淋巴结转移阳性的灵敏度为90.4%, 特异度为81%。

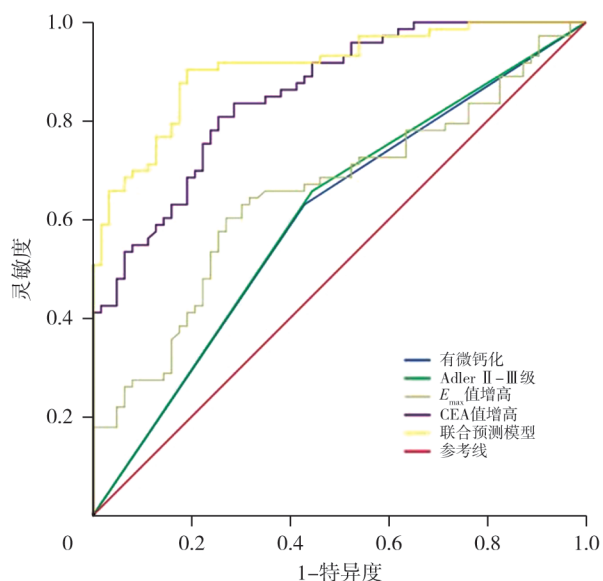


图3 原发灶有微钙化、Adler血流分级II~III级、 $E_{\max}$ 值增高、CEA增高及联合预测模型预测乳腺癌腋窝淋巴结转移的ROC曲线  
Fig.3 ROC curves of microcalcifications, Adler grade II-III blood flow, elevated  $E_{\max}$ , elevated CEA, and combined prediction model

## 3 讨论

当乳腺癌细胞从原发肿瘤扩散时, 常首先侵入邻近的腋窝淋巴结, 使其成为癌细胞扩散的

“首站”<sup>[6]</sup>。准确评估腋窝淋巴结的状态, 对于乳腺癌患者的诊断和治疗至关重要。淋巴结转移标志着乳腺癌的病情进展, 提示疾病已进入中晚期<sup>[7]</sup>, 医师对患者的管理和治疗决策也更为积极, 通常会采取包括全身性化疗、放疗和靶向治疗等综合措施<sup>[8]</sup>。

本研究通过单因素比较和logistic回归分析, 探讨了多模态超声特征联合血清肿瘤标志物与乳腺癌腋窝淋巴结转移的关联性, 明确乳腺癌原发灶有微钙化、Adler血流II~III级、 $E_{\max}$ 值增高、血清CEA增高是腋窝淋巴结阳性的独立预测因素。研究构建了基于上述4个预测因子的预测方程, 并得到相应的AUC。该预测模型具有一定的灵敏度和特异度, 可辅助临床决策, 提高对乳腺癌腋窝淋巴结转移阳性的预测水平。

微钙化的形成通常发生在肿瘤生长的过程中, 尤其是在肿瘤细胞快速增殖时, 由于供血不足或细胞代谢异常, 肿瘤内部可能出现坏死组织。这些坏死组织在随后的钙盐沉积过程中, 形成了可在影像学上观察到的微钙化。这一现象提示肿瘤细胞具有某些特定的生物学特性, 例如更强的侵袭性<sup>[9]</sup>。侵袭性较强的肿瘤更容易侵入血管和淋巴管, 从而增加淋巴结转移的风险。多个临床研究发现, 乳腺癌原发灶中微钙化的存在与淋巴结转移风险增加显著相关, 微钙化与较高的Ki-67增殖指数<sup>[10]</sup>及HER2过表达<sup>[11]</sup>等因素往往同时出现, 这些因素共同增加了淋巴结转移的风险。本研究经单因素比较及logistic回归分析, 进一步验证乳腺癌原发灶有微钙化是预测腋

窝淋巴结转移的独立危险因素（AUC为0.601，95% CI 0.505~0.697）。

肿瘤细胞的增殖和生长，通常会促进新生血管的形成，以满足肿瘤对氧气和营养的需求。这些新生血管往往呈现出规则和异常的结构，且其血流动力学特征与正常血管大相径庭。CDFI能够捕捉到肿块内部血流的变化，进而对肿瘤血流分级进行准确评估<sup>[12]</sup>。通过测量血流的速度和流向，CDFI不仅能提供肿瘤的血流特征，还能够反映出肿瘤的生物学行为和侵袭性。更高侵袭性的癌灶通常具有更丰富的血供和转移特性，在Adler血流分级时也呈现出较高的分级状态<sup>[13]</sup>。本研究发现Adler血流分级Ⅱ~Ⅲ级是乳腺癌腋窝淋巴结转移的独立预测因子（AUC为0.607，95% CI 0.511~0.702），这与既往研究<sup>[14]</sup>结论一致。

在乳腺癌的发生和发展过程中，肿瘤细胞的增殖速度通常较快，导致周围正常组织的结构被破坏，因此乳腺癌组织的质地通常较正常组织和良性病变更为坚硬<sup>[15]</sup>。SWE可以量化显示组织硬度，获得原发病灶的生物学信息<sup>[16]</sup>，通过硬度的差别来鉴别病变的恶性程度。本研究通过SWE测取乳腺癌原发灶的 $E_{max}$ 值在腋窝淋巴结转移阴性组与阳性组中呈现显著差异， $E_{max}$ 增高成为预测淋巴结转移的独立因素（AUC为0.654，95% CI 0.561~0.746），验证了既往研究<sup>[17]</sup>提出SWE定量参数可预测乳腺癌腋窝淋巴结转移的论断。

在包括乳腺癌的多种癌症中都有发现血清CEA水平的升高，较高的CEA水平往往与肿瘤的侵袭性和转移能力增强有关<sup>[18]</sup>。侵袭性强的肿瘤细胞更容易突破原发部位，侵入淋巴系统，从而导致腋窝淋巴结转移。过去的临床研究<sup>[19]</sup>发现，乳腺癌患者的血清CEA水平升高与腋窝淋巴结转移风险增加显著相关。本研究的结果也显示CEA水平升高，可以预测乳腺癌腋窝淋巴结转移阳性（AUC为0.854，95% CI 0.794~0.915）。

既往研究<sup>[20]</sup>曾观察到，乳腺癌腋窝淋巴结转移阳性组的 $E_{max}$ 值和 $E_{min}$ 值均高于腋窝淋巴结转移阴性组。但在本研究中，腋窝淋巴结转移阴性

组其乳腺癌原发灶的 $E_{min}$ 值未显著低于阳性组。其原因可能是在一些乳腺癌患者中，原发肿块硬度的某些特征并不明显增加<sup>[21]</sup>。同时 $E_{min}$ 的测量可能受到多方面因素的影响，例如探头角度的选择、操作人员的经验以及患者配合度等。

CK19作为一种肿瘤标志物，在不同亚型的乳腺癌中，并不全部呈现为高表达状态，其血清表达水平可能存在较大差异<sup>[22]</sup>。如在某些侵袭性较高的乳腺癌患者中，CK19可能较低表达或几乎不表达<sup>[23]</sup>，因此CK19无法有效地反映这些类型肿瘤的转移风险。本研究中 $E_{min}$ 和CK19的阴性结果反映了以单一指征来进行疾病诊断中的局限，提示在乳腺癌转移预测中要综合利用多因素分析的重要性。

本研究具有的局限性：①本研究是单中心回顾性横断面研究，规模较小。②在构建预测模型时，未考虑到不同病理学类型、疾病分期和年龄等相关因素。以上不足留待今后的研究完善。

总之，乳腺癌原发灶有微钙化、Adler血流Ⅱ~Ⅲ级、 $E_{max}$ 值增高、血清CEA增高是腋窝淋巴结转移的独立预测因素，基于上述4个因素构建的预测模型可以在一定程度上预测乳腺癌腋窝淋巴结转移。

#### 第一作者：

贺玉卿（ORCID: 0009-0002-2840-4798），硕士，主治医师。

#### 通信作者：

齐铮琴（ORCID: 0000-0003-1774-7779），硕士，主任医师，

E-mail: qzhq27@sina.com。

#### 作者贡献声明：

贺玉卿：研究设计与初稿撰写；吴梓政：数据处理与模型构建；郭帅：超声图像分析与验证模型；齐铮琴：研究总体指导与论文审稿；徐敏哲：病理数据整理与论文修改。高庆壮：统计学分析，绘制图表。

#### [参 考 文 献]

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] LI J, MA W M, JIANG X H, et al. Development and validation of nomograms predictive of axillary nodal status to guide surgical decision-making in early-stage breast cancer [J]. J Cancer, 2019, 10(5): 1263-1274.
- [3] GAO Y J, LUO Y W, ZHAO C Y, et al. Nomogram based on

- radiomics analysis of primary breast cancer ultrasound images: prediction of axillary lymph node tumor burden in patients [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(2): 928–937.
- [ 4 ] BEŇAČKA R, SZABÓOVÁ D, GULAŠOVÁ Z, et al. Classic and new markers in diagnostics and classification of breast cancer [J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(21): 5444.
- [ 5 ] ADLER D D, CARSON P L, RUBIN J M, et al. Doppler ultrasound color flow imaging in the study of breast cancer: preliminary findings [J]. *Ultrasound Med Biol*, 1990, 16(6): 553–559.
- [ 6 ] SUN C, GONG X T, HOU L, et al. A nomogram based on conventional and contrast-enhanced ultrasound radiomics for the noninvasively prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer patients [J]. *Front Oncol*, 2024, 14: 1400872.
- [ 7 ] KHAN A, MASROOR I, KHANDWALA K, et al. Utility of ultrasound and mammography in detection of negative axillary nodal metastasis in breast cancer [J]. *Cureus*, 2020, 12(1): e6691.
- [ 8 ] JI H R, HU C, YANG X H, et al. Lymph node metastasis in cancer progression: molecular mechanisms, clinical significance and therapeutic interventions [J]. *Signal Transduct Target Ther*, 2023, 8(1): 367.
- [ 9 ] PIDDUBNYI A, KOLOMETS O, DANILCHENKO S, et al. The prospects of using structural phase analysis of microcalcifications in breast cancer diagnostics [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(4): 737.
- [ 10 ] WANG K J, ZOU Z K, SHEN H L, et al. Calcification, posterior acoustic, and blood flow: ultrasonic characteristics of triple-negative breast cancer [J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 9336185.
- [ 11 ] AVDAN ASLAN A, GÜLTEKIN S, ESENDAĞLI YILMAZ G, et al. Is there any association between mammographic features of microcalcifications and breast cancer subtypes in ductal carcinoma *in situ*? [J]. *Acad Radiol*, 2021, 28(7): 963–968.
- [ 12 ] LI X, XU S, HAO L W, et al. Value of molybdenum target X-ray and high-frequency color Doppler flow imaging in early diagnosis of breast carcinoma: a comparative analysis [J]. *Cancer Manag Res*, 2023, 15: 1155–1163.
- [ 13 ] LI J M, SHAO Y H, SUN X M, et al. Ultrasonic features of automated breast volume scanner (ABVS) and handheld ultrasound (HHUS) combined with molecular biomarkers in predicting axillary lymph node metastasis of clinical T1–T2 breast cancer [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(2): 1359–1368.
- [ 14 ] 金家承, 陈鹏超. 超声影像学特征评估乳腺癌腋窝淋巴结转移的影响因素分析 [J]. *浙江医学*, 2023, 45(20): 2208–2211.
- JIN J C, CHEN P C. Analysis of influencing factors of ultrasound imaging characteristics in evaluating axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. *Zhejiang Med J*, 2023, 45(20): 2208–2211.
- [ 15 ] 周宇微, 刘景萍, 公春丽, 等. HER2阳性乳腺癌患者ER表达状态与高频超声及SWE特征的相关性研究 [J]. *肿瘤影像学*, 2022, 31(1): 36–42.
- ZHOU Y W, LIU J P, GONG C L, et al. Correlation between ER expression status and characteristics of high frequency ultrasound and SWE in HER2 positive breast cancer patients [J]. *Oncoradiology*, 2022, 31(1): 36–42.
- [ 16 ] JIANG Y, WANG B, LI J K, et al. Collagen fiber features and COL1A1: are they associated with elastic parameters in breast lesions, and can COL1A1 predict axillary lymph node metastasis? [J]. *BMC Cancer*, 2022, 22(1): 1004.
- [ 17 ] XU S J, WANG Q, HONG Z. The correlation between multi-mode ultrasonographic features of breast cancer and axillary lymph node metastasis [J]. *Front Oncol*, 2024, 14: 1433872.
- [ 18 ] ZHANG J Y, WEI Q, DONG D, et al. The role of TPS, CA125, CA15–3 and CEA in prediction of distant metastasis of breast cancer [J]. *Clin Chim Acta*, 2021, 523: 19–25.
- [ 19 ] GENG S K, FU S M, ZHANG H W, et al. Predictive nomogram based on serum tumor markers and clinicopathological features for stratifying lymph node metastasis in breast cancer [J]. *BMC Cancer*, 2022, 22(1): 1328.
- [ 20 ] LUO C Y, LU L, ZHANG W F, et al. The value of shear wave elastography in the diagnosis of breast cancer axillary lymph node metastasis and its correlation with molecular classification of breast masses [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 846568.
- [ 21 ] BIAN J Y, ZHANG J L, HOU X K. Diagnostic accuracy of ultrasound shear wave elastography combined with superb microvascular imaging for breast tumors: a protocol for systematic review and meta-analysis [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(25): e26262.
- [ 22 ] ORAFA Z, KARIMI N, KEYVANI S, et al. Quantitative CK19 biomarker detection in breast cancer cell lines [J]. *J Med Life*, 2022, 15(2): 188–195.
- [ 23 ] MENZ A, BAUER R, KLUTH M, et al. Diagnostic and prognostic impact of cytokeratin 19 expression analysis in human tumors: a tissue microarray study of 13, 172 tumors [J]. *Hum Pathol*, 2021, 115: 19–36.

(收稿日期: 2025-03-28 修回日期: 2025-05-21)