

基于术前超声、炎症指标及超声影像组学联合模型预测乳腺癌腋窝淋巴结转移

孙婧¹, 杨瑞敏², 王聪³, 张月⁴, 罗兵²

(1.河北北方学院研究生学院,河北 张家口 075000; 2.河北北方学院附属第一医院超声医学科,河北 张家口 075000; 3.河北北方学院附属第一医院放射治疗科,河北 张家口 075000; 4.河北北方学院附属第一医院乳腺外科,河北 张家口 075000)

摘要: **目的** 探讨基于术前超声特征、炎症指标及超声影像组学特征构建的模型预测乳腺癌腋窝淋巴结(axillary lymph node, ALN)转移的价值。**方法** 回顾性分析175例乳腺癌患者的乳腺超声图像和临床资料,使用3D Slicer软件勾画感兴趣区并提取影像组学特征,运用组间相关系数、皮尔森相关系数和递归特征消除法筛选特征,计算影像组学评分(radiomics score, Radscore),构建影像组学模型。通过单因素、多因素逻辑回归筛选临床危险因素构建临床模型,加入Radscore构建联合预测模型。使用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析评估各模型的预测效能和临床价值。**结果** 18个影像组学特征被纳入影像组学模型,肿瘤大小、超声ALN状态和血小板/淋巴细胞比值(platelet to lymphocyte ratio, PLR)被纳入临床模型,肿瘤大小、超声ALN状态、PLR与Radscore被纳入联合预测模型。联合预测模型的预测效能最高,在训练集和验证集的曲线下面积(area under the curve, AUC)分别为0.935、0.858。**结论** 基于肿瘤大小、超声ALN状态、炎症指标PLR及超声影像组学构建的联合预测模型能有效预测乳腺癌患者ALN转移。

关键词: 乳腺癌;腋窝淋巴结转移;超声检查;影像组学;炎症指标

中图分类号:R445.1;R737.9

文献标志码:A

Combined models based on preoperative ultrasound, inflammatory indicators and ultrasound radiomics for predicting axillary lymph node metastasis of breast cancer

SUN Jing¹, YANG Ruimin², WANG Cong³, ZHANG Yue⁴, LUO Bing²

(1. Graduate School, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China;

2. Department of Ultrasound, The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China;

3. Department of Radiotherapy, The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China;

4. Department of Breast Surgery, The First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

Abstract: Objective To investigate the value of models based on preoperative ultrasound characteristics, inflammatory indicators and ultrasound radiomics features in predicting axillary lymph node (ALN) metastasis of breast cancer.

Methods The breast ultrasound images and clinical data of 175 breast cancer patients were retrospectively analyzed. The 3D Slicer software was used to outline the region of interest and extract the radiomics features. The interclass correlation coefficient, Pearson correlation coefficients and recursive feature elimination were used to select the features. After the radiomics score (Radscore) was calculated, the radiomics model was constructed. The clinical model was constructed by screening clinical risk factors through univariate and multivariate Logistic regression, and then the Radscore was added to construct a combined prediction model. The predictive efficacy and clinical value of the models were assessed

with the receiver operating characteristic (ROC) curve, calibration curve, and decision curve. **Results** Eighteen radiomics features were included in the radiomics model, and tumor size, ultrasound ALN status and platelet to lymphocyte ratio (PLR) were included in the clinical model. The tumor size, ultrasound ALN status, PLR and Radscore were included in the combined prediction model. The combined prediction model had the highest prediction efficacy. In the training and validation sets, the area under the curve (AUC) of the combined prediction model were 0.935 and 0.858, respectively. **Conclusion** The combined prediction model based on tumor size, ultrasound ALN status, inflammatory indicator PLR and ultrasound radiomics is effective in predicting ALN metastasis in breast cancer patients.

Key words: Breast cancer; Axillary lymph node metastasis; Ultrasonography; Radiomics; Inflammatory indicators

乳腺癌严重威胁女性身心健康,研究表明乳腺癌患者的5年生存率约为99%,而出现腋窝淋巴结(axillary lymph node, ALN)转移患者的5年生存率降至约86%^[1-2],因此早期评估ALN状态对乳腺癌患者治疗方案的制定及预后评估至关重要。临床上主要采用前哨淋巴结活检(sentinel lymph node biopsy, SLNB)和腋窝淋巴结清扫术(axillary lymph node dissection, ALND)评估淋巴结状态,但易造成上肢淋巴水肿、感觉异常、运动障碍等并发症^[3],因此目前急需一种无创、可靠的工具来评估ALN状态。影像组学可以提取图像深层次信息,更全面地评估肿瘤异质性,已有研究表明,基于超声提取影像组学特征可有效预测ALN转移^[4-6]。肿瘤发生、发展与炎症息息相关,研究发现,术前外周血高水平中性粒细胞/淋巴细胞比值(neutrophil to lymphocyte ratio, NLR)、血小板/淋巴细胞比值(platelet to lymphocyte ratio, PLR)及低水平淋巴细胞/单核细胞比值(lymphocyte to monocyte ratio, LMR)与乳腺癌的不良预后有关^[7-9],但其对乳腺癌ALN转移的预测价值研究较少,且结果不一致^[10-12]。因此,本研究拟提取乳腺病灶的超声影像组学特征,联合术前超声特征及炎症指标建立预测模型,并探讨其对ALN状态的预测效能。

1 资料与方法

1.1 资料

回顾性分析2020年6月至2024年3月就诊于河北北方学院附属第一医院经病理证实的乳腺癌患者的临床资料,从电子病历系统中收集患者术前血常规资料,包括中性粒细胞、淋巴细胞、血小板、单核细胞计数,计算相关炎症指标。患者纳入标准:①经病理证实为原发性乳腺癌;②经SLNB或ALND明确有无ALN转移;③术前行乳腺超声检查和血常规检查;④超声图像清晰和临床资料完整。患者排除标准:①超声检查前接受过乳腺手术、放化疗和内分泌

等治疗;②血常规检查前有创伤、血液系统疾病或接受过影响血液指标的治疗;③病灶多发;④合并其他恶性肿瘤。最终纳入175例患者进行研究,均为女性,33~85岁,平均(54.4±10.7)岁。本研究已通过河北北方学院附属第一医院伦理委员会审核(批号:K2021089),患者知情同意。

1.2 方法

1.2.1 超声检查方法

使用Aplio i800、Aplio i900超声诊断仪,配备5~18 MHz线阵探头。患者取仰卧位,充分暴露乳房和腋窝,对双侧乳腺和腋窝进行全面扫查,选取病灶最大径图像以DICOM格式保存。按照2013年美国放射学会的乳腺影像报告和数据系统(Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS)和《中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2024版)》,评估并记录患者年龄、肿瘤大小、肿瘤位置、纵横比、毛刺、微钙化及超声报告的ALN状态(阳性、阴性)。符合以下一项即为ALN阳性:①长短径比<2;②皮质增厚>3 mm;③淋巴门消失;④出现非淋巴门型血流;⑤淋巴结内微钙化^[13]。

1.2.2 特征提取

由1位具有3年乳腺诊断经验的超声医师使用3D Slicer 5.4.0软件手动勾画感兴趣区(region of interest, ROI),见图1。随机选取20例患者,由该医师和另1位具有5年以上乳腺诊断经验的超声医师勾画ROI,计算组间相关系数(interclass correlation coefficient, ICC),以评估提取特征在观察者间的可重复性。

1.2.3 特征筛选与影像组学模型构建

首先,对重复性较高的影像组学特征(ICC>0.75)进行标准化处理,使不同数量级特征具有可比性,采用R软件将数据以7:3比例随机划分为训练集($n=122$)和验证集($n=53$)。其次,在训练集中利用皮尔森相关系数(Pearson correlation coefficients, PCC)删除冗余特征(PCC值>0.99),然后使用递归特征消除法(recursive feature elimination,

RFE)选择关键特征,最大特征数不超过 20,根据筛选出的特征及其系数计算影像组学评分 (radiomics score, Radscore), 计算公式如下: $Radscore = X_0 + X_1Y_1 + X_2Y_2 + \dots + X_nY_n$, 其中 X_0 为截距, Y_n 为筛选后

的特征, X_n 为特征对应的系数。采用逻辑回归算法建立影像组学模型, 并进行 5 折交叉验证, 以评估模型的稳定性。

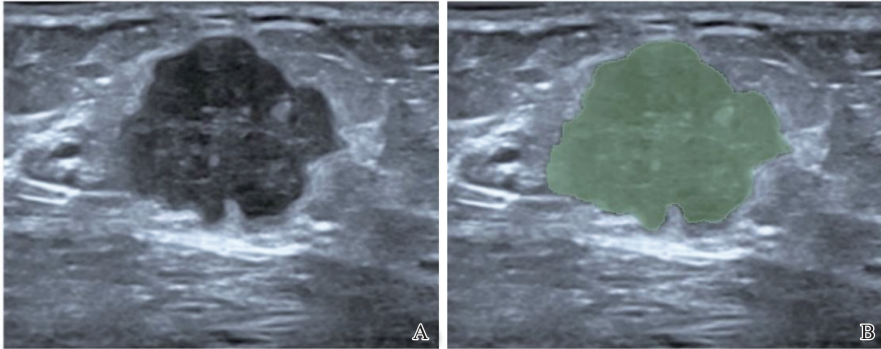


图1 ROI 勾画示意图

A: 原始超声图像; B: 沿病灶边界勾画 ROI。

Figure 1 Schematic diagram of ROI outlining

A: Original ultrasound image; B: The ROI along the lesion boundaries was outlined.

1.2.4 临床模型与联合预测模型构建

对训练集临床变量(年龄、肿瘤大小、肿瘤位置、纵横比、毛刺、微钙化、超声 ALN 状态、NLR、PLR、LMR)进行单因素和多因素逻辑回归分析, 将临床危险因素纳入临床模型, 并加入 Radscore 构建联合预测模型。使用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线、校准曲线和决策曲线 (decision curve analysis, DCA) 评估各模型的预测效能。

1.3 统计学处理

采用 R 4.3.2、FAE 0.5.15 和 SPSS 26.0 软件。首先对连续变量进行正态性检验, 符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 不符合正态分布者以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验。分类变量以 $n(\%)$ 表示, 组间比较采用

χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。应用 ROC 曲线和 Delong 检验比较各模型曲线下面积 (area under the curve, AUC) 间的差异。通过校准曲线和 Hosmer-Lemeshow 检验评估预测数据与实际数据间的差异。绘制 DCA, 量化不同阈值概率下的净收益, 以评估各模型的临床价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义 (双侧)。

2 结果

2.1 一般资料

训练集与验证集中年龄、ALN 转移例数、肿瘤大小、肿瘤位置、纵横比、毛刺、微钙化、超声 ALN 状态、NLR、PLR、LMR 比较, 差异无统计学意义 (P 均 > 0.05), 见表 1。

表 1 乳腺癌患者超声特征、炎症指标比较

Table 1 Comparison of ultrasound characteristics and inflammatory indicators of breast cancer patients

变量	训练集 ($n=122$)	验证集 ($n=53$)	$t/\chi^2/Z$	P
年龄/岁 ^a	53.97±10.88	55.32±10.18	-0.791	0.431
ALN 转移例数 ^b	37 (30.33)	16 (30.19)	<0.001	0.985
肿瘤大小/ cm ^b			0.329	0.566
<2	47 (38.52)	18 (33.96)		
≥2	75 (61.48)	35 (66.04)		
肿瘤位置 ^b			1.579	0.664
内下象限	17 (13.93)	4 (7.55)		
外下象限	21 (17.21)	11 (20.75)		
内上象限	30 (24.59)	13 (24.53)		
外上象限	54 (44.26)	25 (47.17)		
纵横比 ^b			0.681	0.409
>1	17 (13.93)	5 (9.43)		
≤1	105 (86.07)	48 (90.57)		

续表

变量	训练集($n=122$)	验证集($n=53$)	$t/\chi^2/Z$	P
毛刺 ^b	16(13.11)	3(5.66)	2.121	0.145
微钙化 ^b	10(8.20)	6(11.32)	—	0.571
超声 ALN 状态 ^b			0.797	0.372
阴性	93(76.23)	37(69.81)		
阳性	29(23.77)	16(30.19)		
NLR ^c	1.66(1.25, 2.06)	1.79(1.31, 2.25)	-1.325	0.186
PLR ^c	119.01(97.26, 139.00)	121.62(89.07, 157.25)	-0.425	0.672
LMR ^c	6.23(5.26, 7.81)	6.36(5.12, 8.09)	-0.682	0.496

注:^a 数据以 $\bar{x}\pm s$ 形式表示, 对应统计量值为 t 值;^b 数据以 $n(\%)$ 形式表示, 对应统计量值为 χ^2 值, “—” 为无统计值 (Fisher 确切概率法);^c 数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 形式表示, 对应统计量值为 Z 值。肿瘤大小以 T1 期大小 2 cm 为截断值。

2.2 影像组学模型构建

本研究共提取 851 个影像组学特征, 包括 14 个形状特征、18 个一阶特征、75 个纹理特征和 744 个基于小波变换的特征, 经 ICC、PCC 和 RFE 降维处理, 最终筛选出 18 个影像组学特征, 包括 3 个纹理

特征和 15 个基于小波变换的特征, 见图 2。依据筛选出的特征及其系数计算 Radscore, 在训练集中 ALN 阴性和 ALN 阳性的 Radscore 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。

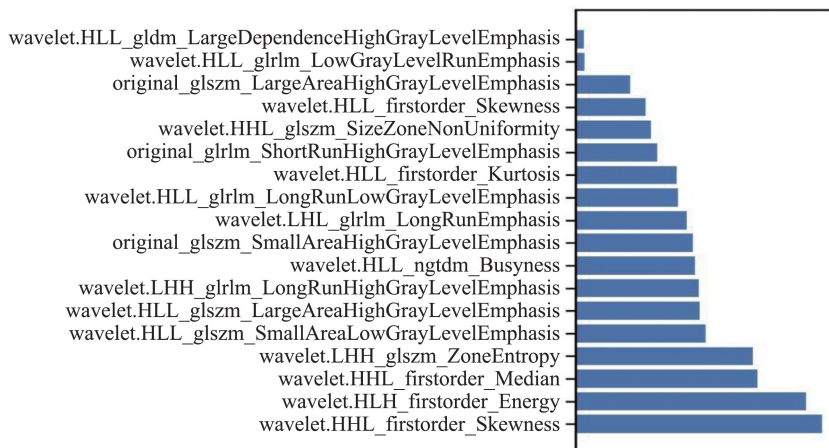


图2 影像组学特征图

Figure 2 Radiomic features diagram

2.3 临床模型及联合预测模型构建

单因素和多因素逻辑回归分析结果显示, 肿瘤大小、超声 ALN 状态、炎症指标 PLR 是 ALN 转移的独立危险因素 (P 均 <0.05), 见表 2、表 3。基

于肿瘤大小、超声 ALN 状态、PLR 构建临床模型, 并加入 Radscore 构建联合预测模型, 绘制列线图 (图 3), 联合预测模型最大约登指数对应的截断值为 0.255。

表2 单因素逻辑回归分析

Table 2 Univariate Logistic regression analysis

变量	ALN 阴性 ($n=85$)	ALN 阳性 ($n=37$)	$t/\chi^2/Z$	P
年龄/岁 ^a	54.32 \pm 10.23	53.16 \pm 12.38	0.499	0.620
肿瘤大小/ cm^b			8.745	0.003
<2	40(47.06)	7(18.92)		
≥ 2	45(52.94)	30(81.08)		
肿瘤位置 ^b			0.453	0.929
内下象限	11(12.94)	6(16.22)		
外下象限	15(17.65)	6(16.22)		
内上象限	22(25.88)	8(21.62)		
外上象限	37(43.53)	17(45.95)		
纵横比 ^b			0.008	0.929
>1	12(14.12)	5(13.51)		
≤ 1	73(85.88)	32(86.49)		

续表

变量	ALN 阴性(<i>n</i> =85)	ALN 阳性(<i>n</i> =37)	<i>t</i> / χ^2 / <i>Z</i>	<i>P</i>
毛刺 ^b	10(11.76)	6(16.22)	—	0.563
微钙化 ^b	6(7.06)	4(10.81)	—	0.489
超声 ALN 状态 ^b			31.889	<0.001
阴性	77(90.59)	16(43.24)		
阳性	8(9.41)	21(56.76)		
NLR ^c	1.57(1.19,1.99)	1.74(1.42,2.06)	-1.409	0.160
PLR ^c	113.50(94.57,136.59)	126.32(110.86,152.26)	-2.375	0.018
LMR ^c	6.35(5.43,8.09)	5.87(5.09,7.09)	-1.791	0.074

注:^a 数据以 $\bar{x} \pm s$ 形式表示,对应统计量值为 *t* 值;^b 数据以 *n*(%)形式表示,对应统计量值为 χ^2 值,“—”为无统计值(Fisher 确切概率法);^c 数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 形式表示,对应统计量值为 *Z* 值。肿瘤大小以 T1 期大小 2 cm 为截断值。

表 3 多因素逻辑回归分析
Table 3 Multi-factor Logistic regression analysis

变量	<i>OR</i>	95% <i>CI</i>	<i>P</i>
肿瘤大小	4.49	1.56~15.0	0.008
超声 ALN 状态	12.10	4.41~37.3	<0.001
PLR	1.02	1.00~1.03	0.032

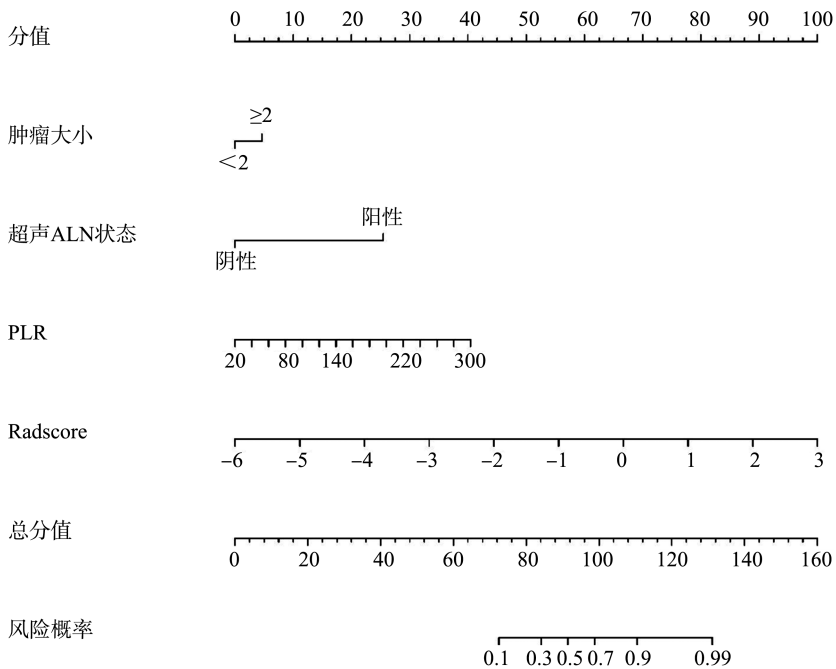


图 3 联合预测模型的列线图
Figure 3 Nomogram of the combined prediction model

2.4 各模型评估

在训练集中,联合预测模型的 AUC 高于临床模型、影像组学模型,差异有统计学意义(AUC 分别为 0.935、0.837、0.854, $Z = -2.820, P = 0.005$; $Z = -2.543, P = 0.011$);在验证集中,联合预测模型的 AUC 高于临床模型,差异无统计学意义(AUC 分别为 0.858、0.777, $Z = -1.281, P = 0.200$),联合预测模型的 AUC 高于影像组学模型,差异有统计学意义

(AUC 分别为 0.858、0.758, $Z = -1.998, P = 0.046$)。校准曲线表明联合预测模型在训练集和验证集的校准度均较好,Hosmer-Lemeshow 检验显示差异无统计学意义($\chi^2 = 2.287, P = 0.971$; $\chi^2 = 13.575, P = 0.094$)。DCA 显示,相较于临床模型和影像组学模型,联合预测模型在预测乳腺癌患者 ALN 转移方面具有更高的临床净收益。见表 4、图 4。

表4 不同模型预测性能比较
Table 4 Comparison of predictive efficacy of different models

模型	AUC(95%CI)	准确度	灵敏度	特异度
训练集				
影像组学模型	0.854(0.780~0.928)	0.828	0.703	0.882
临床模型	0.837(0.758~0.917)	0.828	0.703	0.882
联合预测模型	0.935(0.889~0.981)	0.893	0.892	0.894
验证集				
影像组学模型	0.758(0.599~0.918)	0.755	0.750	0.757
临床模型	0.777(0.645~0.909)	0.774	0.625	0.838
联合预测模型	0.858(0.757~0.959)	0.755	0.875	0.703

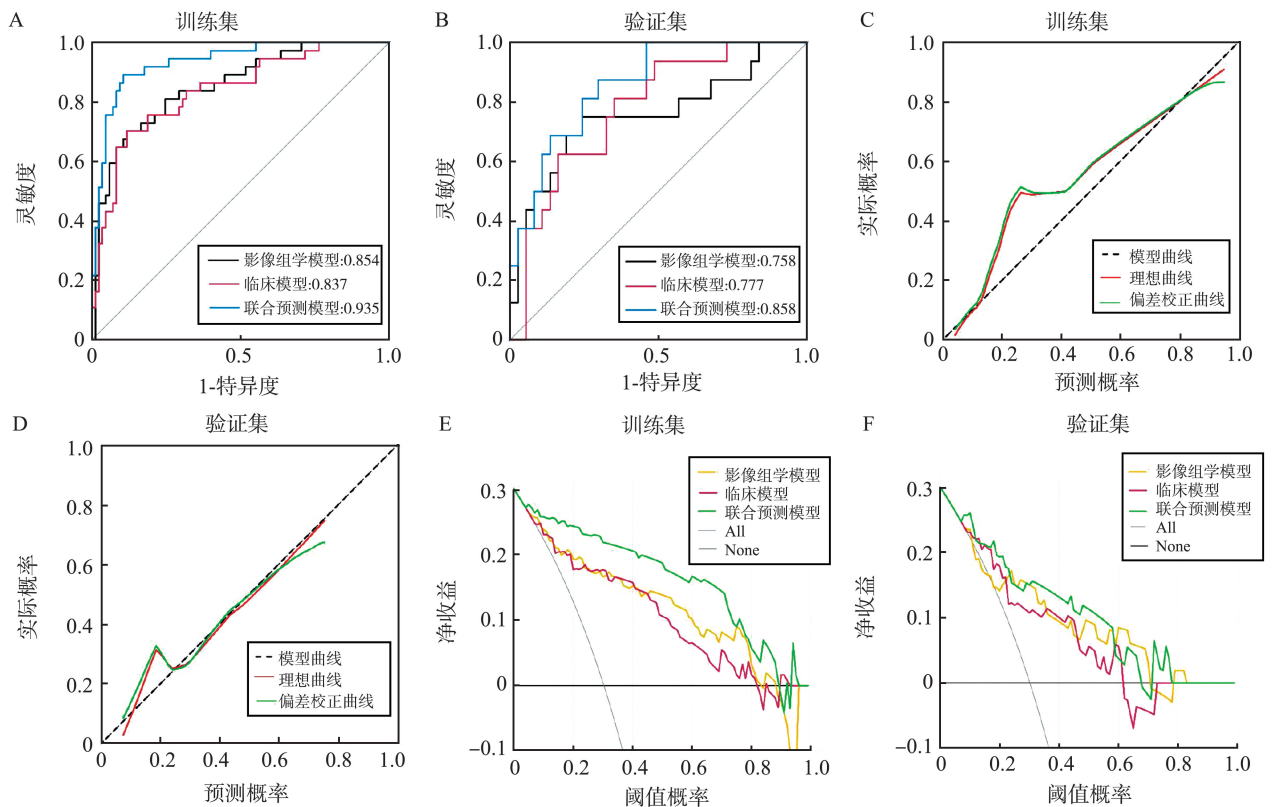


图4 各模型ROC曲线、校准曲线及DCA

A: 训练集中各模型的ROC曲线; B: 验证集中各模型的ROC曲线; C: 训练集中联合预测模型的校准曲线; D: 验证集中联合预测模型的校准曲线; E: 训练集中各模型的DCA; F: 验证集中各模型的DCA。

Figure 4 ROC curve, calibration curve, and DCA of the models

A: ROC curve of the models in the training set; B: ROC curve of the models in the validation set; C: Calibration curve of the combined prediction model in the training set; D: Calibration curve of the combined prediction model in the validation set; E: DCA of the models in the training set; F: DCA of the models in the validation set.

3 讨论

本研究基于术前超声特征、炎症指标和超声影像组学特征建立影像组学模型、临床模型和联合预测模型,在训练集和验证集中联合预测模型的AUC分别为0.935、0.858,均高于单一影像组学模型、临床模型,表明联合预测模型可提高ALN转移诊断效能,有望为临床决策提供重要帮助。

影像组学可以提取并分析医学图像中肉眼看不到的高通量特征,从而为临床精准诊疗提供有价值的信息。本研究从超声图像中提取851个特征,经降维筛选后得到18个与乳腺癌患者ALN转移相关的影像组学特征,并计算Radscore,其中权重系数最高的4个特征分别为wavelet.HHL_firstorder_Skewness、wavelet.HLH_firstorder_Energy、wavelet.HHL_firstorder_Median、wavelet.LHH_glszm_ZoneEntropy。前3个特征均为一阶特征,用来分析ROI内的体素

强度分布, wavelet.LHH_glszm_ZoneEntropy 是纹理特征,可描绘图像中灰度值的空间分布关系,量化肿瘤异质性^[14],值越小,肿瘤异质性越低,患者预后较好^[15]。本研究发现一阶特征的权重系数高于纹理特征,与夏旭东等^[16]研究结果不同,原因可能是超声与 MRI 图像存在差异,未来有待进一步研究。本研究中影像组学模型在训练集和验证集的 AUC 为 0.854、0.758,表现出较好的预测效能。

本研究发现肿瘤大小、超声 ALN 状态、炎症指标 PLR 是乳腺癌患者 ALN 转移的独立危险因素。ALN 阳性患者的肿瘤较大,这与 Li 等^[17]研究结果相同,原因在于肿瘤越大,累及腺体范围越广,越易侵犯淋巴管,发生淋巴结转移。研究表明,初诊时淋巴结为阳性与患者不良预后有关,因此早期评估患者淋巴结状态尤为重要^[18]。Jiang 等^[19]发现超声 ALN 状态是 ALN 转移的独立危险因素,与本研究相符。炎症指标可以评估免疫系统抗肿瘤与促肿瘤功能之间的动态平衡,本研究发现 PLR 是乳腺癌 ALN 转移的独立危险因素,这与既往研究结果一致^[20-22]。血小板与肿瘤细胞相互作用,促进上皮-间质转化,从而促进肿瘤转移^[23]。淋巴细胞维持机体免疫功能,当淋巴细胞减少时,机体免疫力下降,抗肿瘤能力减弱,更易受到肿瘤侵犯。PLR 增加意味着血小板相对淋巴细胞增加,炎症与机体抗肿瘤之间失去平衡,利于肿瘤发生进展,所以乳腺癌 ALN 转移风险更大。但也有研究发现,PLR 与 ALN 转移没有相关性^[11],这可能与样本量大小、纳入标准不同和截断值不同有关,因此 PLR 与 ALN 转移的相关性仍有待研究。目前国内外研究大多是联合病理因素进行预测^[24-26],联合炎症指标的研究较少。相比病理因素,炎症指标简单价廉、容易获取,且对人体损伤较小,可以与术前影像学检查及影像组学相结合,辅助判断患者是否发生淋巴结转移。

本研究的不足之处:①本研究为回顾性研究,且样本来源单一,可能存在选择偏倚,今后仍需前瞻性、多中心研究进行验证;②多项研究表明炎症指标可以预测乳腺癌 ALN 转移^[27-28],本研究仅纳入 3 个炎症指标,今后可纳入更多炎症指标进行研究;③本研究仅通过逻辑回归算法构建模型,今后可以采用支持向量机、随机森林等其他算法建模。

综上所述,基于肿瘤大小、超声 ALN 状态、PLR 和 Radscore 构建的联合预测模型优于单一影像组学模型和临床模型,在术前预测乳腺癌 ALN 转移方面具有较高的诊断效能,可为临床精准诊疗提供参考。

参考文献:

- [1] Siegel R, Giaquinto AN, Jemal A. Cancer statistics, 2024 [J]. CA A Cancer J Clin, 2024, 74: 12-49. doi:10.3322/caac.21820.
- [2] Chang JM, Leung JWT, Moy L, et al. Axillary nodal evaluation in breast cancer: state of the art [J]. Radiology, 2020, 295(3): 500-515.
- [3] Pilger TL, Francisco DF, Dos Reis FJC. Effect of sentinel lymph node biopsy on upper limb function in women with early breast cancer: a systematic review of clinical trials [J]. Eur J Surg Oncol, 2021, 47(7): 1497-1506.
- [4] Liu H, Zou LW, Xu N, et al. Deep learning radiomics based prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer [J]. NPJ Breast Cancer, 2024, 10(1): 22. doi:10.1038/s41523-024-00628-4.
- [5] Ye XL, Zhang XX, Lin ZT, et al. Ultrasound-based radiomics nomogram for predicting axillary lymph node metastasis in invasive breast cancer [J]. Am J Transl Res, 2024, 16(6): 2398-2410.
- [6] Sun C, Gong XT, 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. doi:10.3389/fonc.2024.1400872.
- [7] Faria SS, Giannarelli D, Cordeiro de Lima VC, et al. Development of a prognostic model for early breast cancer integrating neutrophil to lymphocyte ratio and clinical-pathological characteristics [J]. Oncologist, 2024, 29(4): e447-e454.
- [8] 潘婉婉,董孟浩,余发智,等.外周血炎症指标 NLR、PLR、LMR 预测乳腺癌新辅助化疗疗效的价值 [J]. 中华全科医学, 2021, 19(9): 1442-1446.
PAN Wanwan, DONG Menghao, YU Fazhi, et al. Value of peripheral inflammatory markers NLR, PLR and LMR in predicting the efficacy of neoadjuvant chemotherapy for breast cancer [J]. Chinese Journal of General Practice, 2021, 19(9): 1442-1446.
- [9] Yin Y, Zhang Y, Li L, et al. Prognostic value of pre-treatment lymphocyte-to-monocyte ratio and development of a nomogram in breast cancer patients [J]. Front Oncol, 2021, 11: 650980.
- [10] 梅章懿,蒋蓓琦,安敏,等.中性粒细胞淋巴细胞比及血小板淋巴细胞比预测乳腺癌非前哨淋巴结转移的价值分析 [J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(6): 955-960.
MEI Zhangyi, JIANG Beiqi, AN Min, et al. The value of neutrophil-lymphocyte ratio and platelet-lymphocyte ratio in predicting non-sentinel lymph node metastasis in breast cancer [J]. Journal of Modern Oncology, 2021, 29(6): 955-960.
- [11] 林文华,王文文,杨少玲,等.基于术前超声及炎症指

- 标的列线图预测早期乳腺癌腋窝高淋巴结负荷的价值[J]. 中华超声影像学杂志, 2023, 32(4): 339-347.
- LIN Wenhua, WANG Wenwen, YANG Shaoling, et al. Value of nomogram based on preoperative ultrasound and inflammatory indexes in predicting axillary high nodal burden in early breast cancer [J]. Chinese Journal of Ultrasonography, 2023, 32(4): 339-347.
- [12] Yang L, Wang HB, Ma JP, et al. Association between the platelet to lymphocyte ratio, neutrophil to lymphocyte ratio and axillary lymph node metastasis in cT1N0 breast cancer patients[J]. Am J Transl Res, 2021, 13(3): 1854-1861.
- [13] Wang H, Yang XW, Chen F, et al. Non-invasive assessment of axillary lymph node metastasis risk in early invasive breast cancer adopting automated breast volume scanning-based radiomics nomogram; a multicenter study [J]. Ultrasound Med Biol, 2023, 49(5): 1202-1211.
- [14] 刘鹏, 王丽嘉, 马超. 影像组学及分析工具浅谈[J]. 生物医学工程与临床, 2022, 26(4): 511-518.
- LIU Peng, WANG Lijia, MA Chao. Introduction of radiomics and analytical tools[J]. Biomedical Engineering and Clinical Medicine, 2022, 26(4): 511-518.
- [15] Yoo H, Cho KR, Song SE, et al. Tumor heterogeneity of breast cancer assessed with computed tomography texture analysis; association with disease-free survival and clinicopathological prognostic factor [J]. Diagnostics, 2023, 13(23): 3569. doi:10.3390/diagnostics13233569.
- [16] 夏旭东, 段成洲, 王功夏, 等. MRI 纹理分析预测乳腺癌腋窝淋巴结转移[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(4): 531-536.
- XIA Xudong, DUAN Chengzhou, WANG Gongxia, et al. Prediction of axillary lymph node metastasis of breast cancer with MRI texture analysis[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2021, 37(4): 531-536.
- [17] Li N, Song C, Huang X, et al. Optimized radiomics nomogram based on automated breast ultrasound system; a potential tool for preoperative prediction of metastatic lymph node burden in breast cancer[J]. Breast Cancer, 2023, 15: 121-132. doi:10.2147/BCTT.S398300.
- [18] 初竹秀, 赵文静, 李小燕, 等. 218 例女性乳腺癌患者行新辅助化疗及伴随分子标志物改变的临床价值[J]. 山东大学学报(医学版), 2021, 59(9): 130-139.
- CHU Zhuxiu, ZHAO Wenjing, LI Xiaoyan, et al. Significance of neoadjuvant chemotherapy and molecular marker changes in 218 women with breast cancer [J]. Journal of Shandong University (Health Sciences), 2021, 59(9): 130-139.
- [19] Jiang M, Li CL, Luo XM, et al. Radiomics model based on shear-wave elastography in the assessment of axillary lymph node status in early-stage breast cancer[J]. Eur Radiol, 2022, 32(4): 2313-2325.
- [20] Wang HF, Yu JL, Shen WD, et al. The ratio of lymphocyte/red blood cells and platelets/lymphocytes are predictive biomarkers for lymph node metastasis in patients with breast cancer[J]. Cancer Biomark, 2023, 38(4): 595-602.
- [21] Morkavuk ŞB, Kocaöz S, Korukluoğlu B. Diagnostic value of Platelet/Lymphocyte Ratio (PLR) for predicting sentinel axillary lymph node positivity in early-stage breast cancer compared with ultrasonography [J]. Int J Clin Pract, 2021, 75(12): e14939. doi:10.1111/ijcp.14939.
- [22] 朱永琪, 纪华, 朱彦芳, 等. 术前 MRI 影像组学列线图对乳腺癌腋窝淋巴结转移的预测价值[J]. 磁共振成像, 2022, 13(5): 52-58.
- ZHU Yongqi, JI Hua, ZHU Yanfang, et al. Predictive value of preoperative MRI-based nomogram for axillary lymph node metastasis in breast cancer [J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2022, 13(5): 52-58.
- [23] Wang XY, Zhao SY, Wang ZX, et al. Platelets involved tumor cell EMT during circulation; communications and interventions[J]. Cell Commun Signal, 2022, 20(1): 82. doi:10.1186/s12964-022-00887-3.
- [24] Zhang WY, Wang SY, Wang YC, et al. Ultrasound-based radiomics nomogram for predicting axillary lymph node metastasis in early-stage breast cancer [J]. Radiol Med, 2024, 129(2): 211-221.
- [25] Tang YL, Wang B, Ouyang T, et al. Ultrasound radiomics based on axillary lymph nodes images for predicting lymph node metastasis in breast cancer[J]. Front Oncol, 2023, 13: 1217309. doi: 10.3389/fonc.2023.1217309.
- [26] 焦光丽, 石子馨, 陈蓉, 等. 基于增强 CT 影像组学预测卵巢癌患者铂类药物敏感性[J]. 山东大学学报(医学版), 2023, 61(12): 62-69.
- JIAO Guangli, SHI Zixin, CHEN Rong, et al. Radiomics of enhanced CT in predicting the response to platinum-based chemotherapy for ovarian cancer [J]. Journal of Shandong University (Health Sciences), 2023, 61(12): 62-69.
- [27] 任艳, 王彦伟, 宋爱琳. 外周血炎症指数与乳腺癌腋窝淋巴结转移的相关性分析[J]. 兰州大学学报(医学版), 2024, 50(3): 44-48.
- REN Yan, WANG Yanwei, SONG Ailin. Association between peripheral blood inflammation index and axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. Journal of Lanzhou University (Medical Sciences), 2024, 50(3): 44-48.
- [28] Song Y, Liu JJ, Jin CY, et al. Value of contrast-enhanced ultrasound combined with immune-inflammatory markers in predicting axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. Acad Radiol, 2024, 31(9): 3535-3545.