

基于数字乳腺断层摄影技术影像组学的临床联合模型评估乳腺癌 HER2 表达状态的临床价值

陶洁娣¹ 邱健² 袁袁^{2*}

1.上海健康医学院附属崇明医院放射科,上海 202150;2.上海健康医学院附属崇明医院医学影像科,上海 202150

[摘要] **目的** 探讨基于数字乳腺断层摄影技术(DBT)影像组学的临床联合预测模型评估乳腺癌人表皮生长因子受体 2(HER2)表达状态的临床价值。**方法** 回顾性分析 2021 年 1 月至 2024 年 1 月上海健康医学院附属崇明医院收治的 156 例乳腺癌患者的影像学、临床病理资料。构建预测乳腺癌 HER2 表达状态的影像组学及影像组学-临床联合模型;使用受试者操作特征(ROC)曲线、校准曲线及临床决策曲线分析评估模型的区分度、准确性与临床实用价值。**结果** HER2 阳性率为 37.18%(58/156)。HER2 阳性组与 HER2 阴性组 TNM 分期、Ki-67 及影像组学评分(Rad-score)比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。共获得 2 个一阶特征、1 个形状特征、1 个灰度连通区域矩阵、3 个灰度共生矩阵特征、2 个灰度相关矩阵特征、1 个灰度游程矩阵用于构建影像组学模型。TNM 分期为 III 期、Ki-67 阳性、高 Rad-score 是乳腺癌 HER2 阳性的危险因素($OR=2.132, 1.992, 2.221, P<0.05$)。训练集和验证集中影像组学-临床联合模型对乳腺癌 HER2 表达状态的预测效能高于影像组学模型。模型的校准度较好且具有良好的临床应用前景。**结论** 基于 DBT 影像组学特征的临床联合模型对乳腺癌 HER2 表达状态具有较高的预测效能,可为临床制订精准及个体化治疗决策提供参考依据。

[关键词] 乳腺癌;数字乳腺断层摄影技术;影像组学;人表皮生长因子受体 2;临床价值

[中图分类号] R737.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-7210(2025)11(c)-0047-06

DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2025.33.09

Clinical value of a clinical combined model based on digital breast tomosynthesis technology in evaluating HER2 expression status of breast cancer

TAO Jiedi¹ QIU Jian² YUAN Yuan^{2*}

1.Department of Radiology, Chongming Hospital Affiliated to Shanghai Health College, Shanghai 202150, China;

2.Department of Medical Imaging, Chongming Hospital Affiliated to Shanghai Health College, Shanghai 202150, China

[Abstract] **Objective** To explore the clinical value of a combined clinical prediction model based on digital breast tomosynthesis technology (DBT) radiomics in evaluating human epidermal growth factor receptor 2 (HER2) expression status of breast cancer. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the imaging and clinicopathological data of 156 breast cancer patients admitted to Chongming Hospital Affiliated to Shanghai Health College from January 2021 to January 2024. The radiomics and radiomic-clinical combined models for predicting the HER2 expression status of breast cancer were constructed. The receiver operating characteristic (ROC) curve, calibration curve, and clinical decision curve analysis were used to evaluate the discrimination, accuracy, and clinical practical value of the models. **Results** The positive rate of HER2 was 37.18% (58/156). There were statistically significant differences in TNM stage, Ki-67, and radiomics score (Rad-score) between HER2-positive group and HER2-negative group ($P<0.05$). A total of 2 first-order features, 1 shape feature, 1 gray-level size zone matrix, 3 gray-level co-occurrence matrix features, 2 gray-level dependence matrix feature, and 1 gray-level run-length matrix were obtained for constructing the radiomics model. TNM stage III, positive Ki-67, and high Rad-score were risk factors for HER2-positive of breast cancer ($OR=2.132, 1.992, 2.221, P<0.05$). The predictive efficacy of the radiomics-clinical combined model in training set and validation set for HER2 expression status of breast cancer was higher than that of radiomics model. The calibration degree of model was good and it had a promising clinical application prospect. **Conclusion** The clinical combined model based on DBT radiomics features has a high predictive efficacy for HER2 expression status of breast cancer and can provide a reference basis for the formulation of precise and individualized treatment decisions in clinical practice.

[Key words] Breast cancer; Digital breast tomosynthesis technology; Radiomics; Human epidermal growth factor receptor 2; Clinical value

乳腺癌是一种具有高度异质性的恶性肿瘤,其早期发现与合理治疗对改善预后至关重要^[1]。人表皮生

[基金项目] 上海市崇明区“可持续发展科技创新行动计划”项目(CKY2023-02)。

*通讯作者

长因子受体 2 (human epidermal growth factor receptor 2, HER2) 是乳腺癌关键的肿瘤生物标志物, HER2 阳性乳腺癌侵袭性强、复发风险高,准确评估 HER2 状态对预后具有重要意义^[2]。目前 HER2 检测主要依赖活检,存在创伤大、取样误差和时效性差等局限^[3]。

数字乳腺断层摄影技术 (digital breast tomosynthesis technology, DBT) 通过三维成像显著提升病灶显示清晰度^[4]。研究发现, 影像组学定量描述肿瘤异质性, 反映病理生理学信息, 为术前无创、全面评估乳腺癌 HER2 分子标志物提供新的方向^[5]。但单一模型预测效能有限, 不能全方面评估 HER2 表达状态。因此, 本研究整合 DBT 影像组学特征与临床指标, 构建并验证联合模型, 旨在为术前无创、精准预测 HER2 状态提供依据, 辅助临床诊疗决策。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2021 年 1 月至 2024 年 1 月上海健康医学院附属崇明医院乳腺癌患者的影像学、临床病理资料。纳入标准: ①病理确诊为乳腺癌; ②年龄 ≥ 18 岁, 女性; ③初诊; ④术前或穿刺前接受 DBT 检查; ⑤资料完整。排除标准: ①有远处器官转移; ②DBT 检查前已接受手术或其他治疗; ③DBT 图像不完整或图像质量不佳无法评估; ④存在严重器质性病变或合并严重的肝、肾功能不全。依据纳入及排除标准, 本研究共纳入 156 例患者, 年龄 25~80 岁, 平均 (59.89 \pm 10.01) 岁; TNM 分期: I~II 期 100 例、III 期 56 例; 将入组患者按 7:3 的比例分为训练集 (109 例) 和验证集 (47 例)。本研究已获得上海健康医学院附属崇明医院伦理委员会审核批准 (CMEC-2025-KT-48)。

1.2 研究方法

1.2.1 HER2 表达状态判定 使用免疫组织化学染色法检测, 若结果为 (+++) 则为 HER2 阳性; 结果为 (++) (+) 则需要进一步进行原位杂交检测, 符合阳性标准 (HER2/CEP17 比值 ≥ 2.0 或平均 HER2 拷贝数 / 细胞 ≥ 6.0) 为 HER2 阳性, 其余为 HER2 阴性^[6]。

1.2.2 DBT 扫描及图像分割 采用数字乳腺 X 线摄影机 (深圳圣诺医疗设备股份有限公司, 型号: Navigator Star) 检查体位头尾 (craniocaudal projection, CC) 位和内外斜 (mediolateral oblique projection, MLO) 位。扫描过程中, X 线管以受检乳房为中心, 扫描角度为 $15.0^\circ \pm 7.5^\circ$, 每旋转 1° 进行 1 次低剂量曝光, 共曝光 15 次, 最后将获得的图像重建生成厚为 1 mm 的断层图像。DBT 扫描数据导入 ITK-SNAP 图像软件, 由两位从事乳腺癌诊断超过 5 年的放射科医师分别在 CC 位和 MLO 位 DBT 图像上, 沿乳腺肿瘤的起始层、中间层及终止层对病灶边缘进行感兴趣区勾画。针对合并钙化的肿块病例, 若钙化位于肿块内部则仅勾画肿块边界; 若钙化分布于肿块周边区域, 则将肿块与邻近钙化作为统一整体进行轮廓标记。

1.2.3 影像组学特征提取与筛选 对 DBT 图像进行归一化和重采样处理, 使用基于 Python 的 pyradiomics 2.1.2 软件对 CC 位和 MLO 位的 DBT 图像获取影像组学特征, 包括一阶特征、形状特征、灰度共生矩阵特征 (gray-level co-occurrence matrix features, GLCM)、灰度相关矩阵特征 (gray-level dependence matrix feature, GLDM)、灰度游程矩阵 (gray-level run-length matrix, GLRLM)、灰度连通区域矩阵 (gray-level size zone matrix,

GLSZM)。

1.2.4 模型构建 对所提取特征之间的相关系数 > 0.75 的特征进行特征选择, 使用 RMS、dca.R 软件包对提取的影像组学特征进行降维处理, R 4.0 统计学软件构建影像组学评分 (radiomics score, Rad-score) 的 logistic 回归模型, 依据特征的 β 系数确定影像组学标签, 基于影像组学训练标签算法计算 Rad-score, 建立影像组学模型及影像组学-临床联合模型。

1.2.5 临床资料收集 通过电子病历系统收集患者的临床资料, 主要包括年龄 (≥ 60 岁、 < 60 岁)^[7]、月经状态、病理类型^[8]、TNM 分期^[9]、肿物位置、肿物数目、肿物形状、雌激素受体、孕激素受体、Ki-67 及 HER2 表达状态。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0、R 4.0 统计学软件进行数据分析。计量资料用均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较采用 t 检验; 计数资料用例数表示, 比较采用 χ^2 检验; 影响因素采用 logistic 回归模型; 受试者操作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评估模型的预测效能, 校准曲线评价模型的一致性, 决策曲线分析 (decision curve analysis, DCA) 评估模型的临床应用价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 训练集与验证集临床资料比较

HER2 阳性率为 37.18% (58/156), 其中训练集 39 例 (35.78%)、验证集 19 例 (40.43%)。训练集与验证集临床资料比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

2.2 不同 HER2 表达状态组临床资料比较

HER2 阳性组与 HER2 阴性组 TNM 分期、Ki-67 及 Rad-score 比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 2。

2.3 DBT 影像组学特征

本研究共提取 1 023 个影像组学特征, 经降维筛选后获得 10 个特征用于构建影像组学多参数模型, 10 个特征包括 2 个一阶特征、1 个形状特征、1 个 GLSZM、3 个 GLCM、2 个 GLDM、1 个 GLRLM。

应用影像组学标签构建预测模型, 概率计算公式 $\text{logit}(P) = -0.103 + 0.491 \times \text{CC_lbp_2D_firstorder_Interq_uartileRange} + 0.342 \times \text{CC_P3_original_glszm_GrayLevelNonUniformityNormalized} + 1.028 \times \text{CC_P3_waveletLHL_glcm_Imc2} + 0.686 \times \text{CC_P3_waveletLLH_glcm_ClusterShade} + 0.698 \times \text{CC_l_waveletLLL_glcm_Correlation} + 0.541 \times \text{CC_P3_waveletLLL_gldm_DependenceVariance} + 0.406 \times \text{MLO_logarithm_glrlm_RunVariance} + 0.597 \times \text{MLO_squareroot_firstorder_10Percentile} + 0.611 \times \text{lbp_3D_m2_gldm_LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis} + 0.456 \times \text{ph2_wavelet_shape_wavelet.hhl.majoraxislength}$ 。

2.4 乳腺癌 HER2 表达状态的影响因素

将 HER2 表达状态作为因变量 (阳性=1, 阴性=0), 表 2 中差异有统计学意义 ($P < 0.05$) 变量作为自变量。赋值方法: TNM 分期 (III 期=1, I~II 期=0); Ki-67 (阳

表 1 训练集与验证集临床资料比较(例)

项目	训练集 (109 例)	验证集 (47 例)	χ^2 值	P 值
年龄(岁)			0.122	0.727
≥ 60	64	29		
< 60	45	18		
月经状态			0.888	0.346
已绝经	56	28		
未绝经	53	19		
病理类型			1.922	0.382
非特殊型浸润性导管癌	100	42		
浸润性小叶癌	1	2		
导管内癌	2	1		
浸润性微乳头状癌	3	1		
其他	3	1		
TNM 分期(期)			0.101	0.751
I~II	69	31		
III	40	16		
肿物位置			0.318	0.573
左乳	61	24		
右乳	48	23		
肿物数目(个)			1.105	0.575
1	75	35		
2	5	3		
≥ 3	29	9		
肿物形状			0.082	0.774
圆形 / 卵圆形	35	14		
不规则形	74	33		
雌激素受体			0.971	0.325
阳性	75	36		
阴性	34	11		
孕激素受体			0.506	0.477
阳性	75	35		
阴性	34	12		
Ki-67			3.745	0.053
阳性	74	39		
阴性	35	8		
HER2			0.798	0.372
阳性	39	19		
阴性	70	28		

注 HER2: 人表皮生长因子受体 2。

性=1, 阴性=0); Rad-score 为连续变量, 原值纳入。多重共线性分析结果显示, 各自变量方差膨胀因子均 < 5 , 容忍度均 > 0.2 , 不存在多重共线性。logistic 回归分析结果显示, TNM 分期为 III 期、Ki-67 阳性、高 Rad-score 是 HER2 阳性的危险因素 (OR=2.132、1.992、2.221, $P < 0.05$)。见表 3。

表 2 不同 HER2 表达状态组临床资料比较

项目	HER2 阳性 组(39 例)	HER2 阴性 组(70 例)	χ^2/t 值	P 值
年龄(例)			1.584	0.208
≥ 60 岁	26	38		
< 60 岁	13	32		
月经状态(例)			2.511	0.113
已绝经	24	32		
未绝经	15	38		
病理类型(例)			0.321	0.571
非特殊型浸润性导管癌	35	65		
浸润性小叶癌	1	0		
导管内癌	1	1		
浸润性微乳头状癌	1	2		
其他	1	2		
TNM 分期(例)			5.561	0.018
I~II 期	19	50		
III 期	20	20		
肿物位置(例)			0.223	0.636
左乳	23	38		
右乳	16	32		
肿物数目(例)			1.252	0.263
1 个	25	50		
2 个	2	3		
≥ 3 个	12	17		
肿物形状(例)			1.166	0.280
圆形 / 卵圆形	10	25		
不规则形	29	45		
雌激素受体(例)			1.864	0.172
阳性	30	45		
阴性	9	25		
孕激素受体(例)			0.872	0.350
阳性	29	46		
阴性	10	24		
Ki-67(例)			5.587	0.018
阳性	32	42		
阴性	7	28		
Rad-score($\bar{x} \pm s$)	2.07 \pm 0.48	1.68 \pm 0.03	6.799	< 0.001

注 HER2: 人表皮生长因子受体 2; Rad-score: 影像组学评分。

2.5 影像组学模型及影像组学-临床联合模型对乳腺癌 HER2 表达状态的预测效能

以 Rad-score 建立影像组学预测模型, 以 TNM 分期、Ki-67 及 Rad-score 建立影像组学-临床联合模型。

ROC 曲线分析显示, 训练集和验证集中影像组学-临床联合模型对乳腺癌 HER2 表达状态的预测效能高于影像组学模型。两模型在训练集及验证集中的校准曲线与实际曲线接近重合 (Hosmer-Lemeshow

表 3 多因素 logistic 回归分析影响 HER2 表达状态的因素

项目	β	S.E.	Wald χ^2	P 值	OR 值	95%CI	容忍度	方差膨胀因子
常数项	-0.614	0.358	2.942	< 0.001			0.452	4.214
TNM 分期	0.757	0.311	5.925	< 0.001	2.132	1.354~2.910	0.212	3.145
Ki-67	0.689	0.214	10.366	< 0.001	1.992	1.754~3.229	0.358	4.137
Rad-score	0.798	0.218	13.400	< 0.001	2.221	1.586~3.586	0.681	2.012

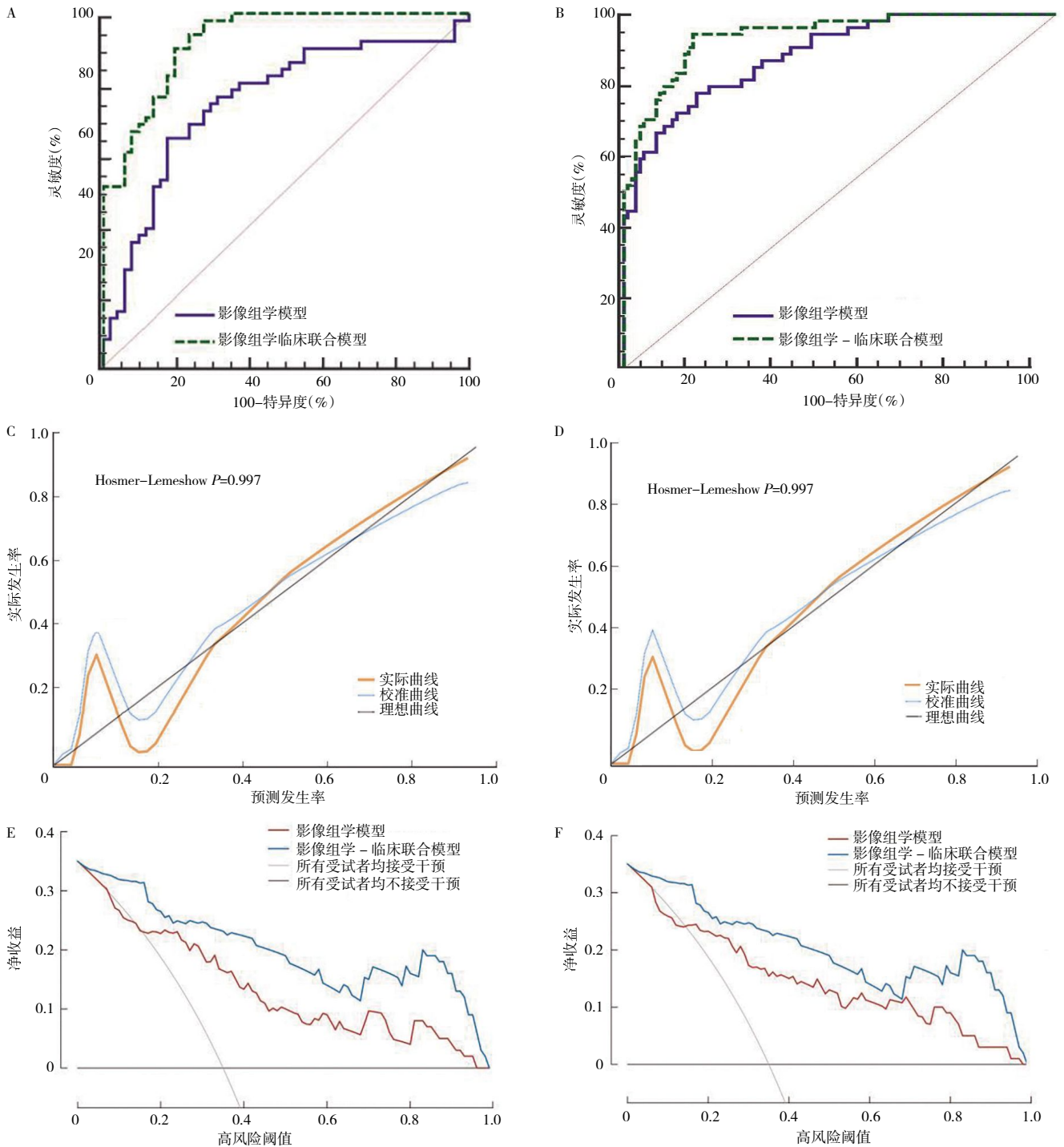
注 Rad-score: 影像组学评分。

$\chi^2=0.735, 0.648, 0.811, 0.754, P>0.05$)。训练集中影像组学模型、影像组学-临床联合模型预测乳腺癌 HER2 表达状态风险概率阈值为 16%~97%、3%~100% 时, 患者的净获益率大于所有患者进行干预和所有患者

不进行干预; 验证集中影像组学模型、影像组学-临床联合模型预测乳腺癌 HER2 表达状态风险概率阈值为 12%~98%、2%~100%, 患者的净获益率大于所有患者进行干预和所有患者不进行干预。见表 4、图 1。

表 4 DBT 影像组学特征模型的评级结果

模型	数据集	曲线下面积	95%CI	灵敏度(%)	特异度(%)	约登指数
影像组学模型	训练集	0.767	0.677~0.842	64.10	82.86	0.470
	验证集	0.819	0.734~0.885	78.95	92.86	0.718
影像组学-临床联合模型	训练集	0.925	0.855~0.968	92.31	80.00	0.723
	验证集	0.941	0.892~0.972	94.74	82.14	0.748



A~B: 影像组学及影像组学-临床联合模型在训练集、验证集中的 ROC 曲线; C~D: 影像组学及影像组学-临床联合模型在训练集和验证集中的校准曲线; E~F: 影像组学及影像组学-临床联合模型在训练集和验证集中的 DCA 曲线。ROC: 受试者操作特征; DCA: 决策曲线分析。

图 1 影像组学模型及影像组学-临床联合模型在训练集和验证集中的验证结果

3 讨论

HER2 作为乳腺癌重要的原癌基因,其扩增可促进肿瘤细胞的增殖、迁移和侵袭能力,提示乳腺癌不良预后的关键指标^[10-11]。影像组学通过高通量图像分析技术,从医学影像中提取大量定量特征,能够反映肿瘤的空间异质性^[12]。Niu 等^[14]研究表明,利用 DBT 图像的影像组学特征构建了 logistic 回归模型,可以有效评估 HER2 表达状态。

本研究中 HER2 阳性率为 37.18%,HER2 阳性组 TNM Ⅲ期、Ki-67 阳性占比及 Rad-score 高于 HER2 阴性组,提示乳腺癌患者 HER2 阳性率较高,这可能与肿瘤的浸润深度、肿瘤细胞增殖活跃程度有关^[13]。本研究中纳入模型的一阶特征主要反映图像中像素值的分布情况,如肿瘤密度、强度分布和边缘特征,可能与肿瘤的生长活跃度和组织密度有关^[14]。GLCM 特征通过描述灰度空间分布和纹理,反映肿瘤内部的异质性及组织结构的不规则性,可能与 HER2 阳性肿瘤中细胞增殖活跃、组织紊乱有关^[15]。GLDM 特征用于描述图像中灰度值的依赖关系,揭示组织结构的复杂性,或与 HER2 阳性肿瘤中细胞增殖异常和组织结构紊乱有关^[16]。GLSZM 特征通过分析灰度值大小分布和均匀性,反映肿瘤组织的异质性和局部微结构的紊乱程度,可能与 HER2 阳性肿瘤中细胞增殖异常和组织结构紊乱有关^[17]。GLRLM 特征描述图像中灰度值的连续性,能够反映肿瘤中高密度细胞团簇的空间聚集和局部微结构的紊乱程度,可能与 HER2 阳性肿瘤中细胞增殖异常和组织结构紊乱有关^[18]。

本研究中影像组学-临床联合模型预测训练集和验证集 HER2 表达状态的曲线下面积均高于影像组学模型,且校准曲线与实际曲线接近重合,提示两者构建的预测模型有较好的拟合度。有研究显示,结合患者的影像组学特征能够提升 HER2 表达状态的预测效能^[19]。本研究中训练集影像组学模型和影像组学-临床联合模型的净获益阈值范围分别为 16%~97%与 3%~100%;验证集中则为 12%~98%与 2%~100%。训练集的 DCA 结果有助于确定最佳决策阈值,实现最大净收益,而验证集的 DCA 结果则体现了模型良好的泛化能力与临床实用性。两者结合可更全面地评估模型的临床的实用价值^[20]。

综上所述,基于 DBT 影像组学临床联合预测模型对乳腺癌 HER2 表达状态具有较高的预测效能,为无创评估乳腺癌 HER2 表达状态提供一种新的探索方向。本研究存在一定的局限性:①本研究为单中心临床试验设计、样本量偏小,可能导致结果存在偏倚,未来可开展大规模研究加以验证。②本研究未进行中心外部验证,可能存在模型过拟合及泛化能力不足风险,未来需要进一步开展多中心外部验证以评估模型

的泛化性能。

利益冲突声明: 本文所有作者均声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] KATSURA C, OGUNMWONYI I, KANKAM H K, *et al.* Breast cancer: presentation, investigation and management [J]. *Br J Hosp Med (Lond)*, 2022, 83(2): 1-7.
- [2] LI Y W, DAI L J, WU X R, *et al.* Molecular characterization and classification of HER2-positive breast cancer informed tailored therapeutic strategies [J]. *Cancer Res*, 2024, 84(21): 3669-3683.
- [3] WOLFF A C, SOMERFIELD M R, DOWSETT M, *et al.* Human epidermal growth factor receptor 2 testing in breast cancer [J]. *Arch Pathol Lab Med*, 2023, 147(9): 993-1000.
- [4] NIU S, JIANG W, ZHAO N, *et al.* Intra- and peritumoral radiomics on assessment of breast cancer molecular subtypes based on mammography and MRI [J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2022, 148(1): 97-106.
- [5] 杨玉婷, 廖婷婷, 林小慧, 等. 数字乳腺 X 线断层摄影定位与二维立体定位下乳腺病变不同活检方式的比较研究 [J]. *中华放射学杂志*, 2024, 58(9): 916-922.
- [6] WOLFF A C, SOMERFIELD M R, DOWSETT M, *et al.* Human epidermal growth factor receptor 2 testing in breast cancer: asco-college of american pathologists guideline update [J]. *J Clin Oncol*, 2023, 41(22): 3867-3872.
- [7] RUDNICKA E, NAPIERAŁA P, PODFIGURNA A, *et al.* The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing [J]. *Maturitas*, 2020, 139: 6-11.
- [8] 李凯咪, 武莎斐, 孙铭晨, 等. 回顾性分析真实世界中 HER2 低表达乳腺癌的临床病理特征 [J]. *中华病理学杂志*, 2024, 53(7): 691-696.
- [9] 毛新武, 张晓文. 线粒体凋亡因子 2 表达与乳腺癌临床病理特征及预后的关系 [J]. *中国妇幼保健*, 2025, 40(3): 529-533.
- [10] 刘晨鹭, 刘洁, 张帆, 等. 增强 MRI 影像组学特征生境分析在预测乳腺癌 HER-2 表达状态中的应用 [J]. *中华乳腺病杂志(电子版)*, 2024, 18(6): 339-345.
- [11] AVELINO A R M, PULIPATI S, JAMOISS K, *et al.* Updates in treatment of her2-positive metastatic breast cancer [J]. *Curr Treat Options Oncol*, 2024, 25(12): 1471-1481.
- [12] WANG S, WANG T, GUO S, *et al.* Whole tumour- and subregion-based radiomics of contrast-enhanced mammography in differentiating HER2 expression status of invasive breast cancers: A double-centre pilot study [J]. *Br J Cancer*, 2024, 131(10): 1613-1622.
- [13] 梁旭, 姚建莉, 董晓蕾, 等. 数字乳腺断层重建 2D 图像技术在乳腺病变诊断中的应用价值 [J]. *中国医疗设备*, 2023, 38(2): 68-72.
- [14] 李卓君. 基于 DBT 的瘤内和瘤周影像组学评估乳腺癌 HER2 状态的研究 [D]. 太原: 山西医科大学, 2023.

(下转第 72 页)

- (9):1721-1729.
- [7] HSIEH H F, SHANNON S E. Three approaches to qualitative content analysis [J]. *Qual Health Res*, 2005, 15(9): 1277-1288.
- [8] LI P, ZHONG J, CHEN H, *et al.* Current status and associated factors of health information literacy among the community elderly in central China in the COVID-19 pandemic: a cross-sectional study [J]. *Risk Manage Healthc Policy*, 2022, 15: 2187-2195.
- [9] 侯锐, 隗瑛琦, 方凯, 等. 老年人群健康素养促进策略研究进展[J]. *预防医学*, 2025, 37(2): 154-157.
- [10] 刘东旭, 徐小艳. 基于 Web of Science 的住院老年人衰弱的可视化分析[J]. *医学信息*, 2023, 36(7): 47-52.
- [11] OTSUKA R, TANGE C, TOMIDA M, *et al.* Dietary factors associated with the development of physical frailty in community-dwelling older adults [J]. *J Nutr Health Aging*, 2019, 23(1): 89-95.
- [12] 慈莉娅, 杨长春, 郑鹏远, 等. 医养结合机构衰弱老年人多重用药安全管理中国专家共识(2022 版)[J]. *中华保健医学杂志*, 2022, 24(5): 355-362.
- [13] YAMADA M, ARAI H, SONODA T, *et al.* Community-based exercise program is cost-effective by preventing care and disability in Japanese frail older adults [J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2012, 13(6): 507-511.
- [14] CHANG S J, JANG S J, LEE H, *et al.* Building on evidence to improve eHealth literacy in older adults: a systematic review [J]. *Comput Inform Nurs*, 2021, 39(5): 241.
- [15] TOMK, PHANG P T. Effectiveness of the video medium to supplement preoperative patient education: A systematic review of the literature [J]. *Patient Educ Couns*, 2022, 105(7): 1878-1887.
- [16] WATKINS I, XIE B. eHealth literacy interventions for older adults: a systematic review of the literature [J]. *J Med Internet Res*, 2014, 16(11): e225.
- [17] 林子涵, 黄德荣, 刘子钰, 等. 主动健康视角下健康意识的内涵、测量与应用研究进展[J]. *医学与社会*, 2025, 38(2): 20-26.
- [18] SUN X R, YAN W X, ZHOU H, *et al.* Internet use and need for digital health technology among the elderly: a cross-sectional survey in China [J]. *BMC Public Health*, 2020, 20(1): 1386.
- [19] KELLY M E, DUFF H, KELLY S, *et al.* The impact of social activities, social networks, social support and social relationships on the cognitive functioning of healthy older adults: a systematic review [J]. *Systematic Reviews*, 2017, 6: 259.
- [20] ZHAO Y C, ZHAO M Y, SONG S J. Online health information seeking behaviors among older adults: systematic scoping review [J]. *J Med Internet Res*, 2022, 24(2): e34790.
- [21] 李少杰, 徐慧兰, 崔光辉. 老年人电子健康素养及影响因素[J]. *中华疾病控制杂志*, 2018, 23(11): 1318-1322.
- [22] 刘珍, 张晗, 张艳, 等. 郑州市农村老年人电子健康素养现状及影响因素分析[J]. *现代预防医学*, 2020, 47(2): 283-286, 309.

(收稿日期: 2025-07-04)

(修回日期: 2025-08-29)

(上接第 51 页)

- [15] 李佳蔚, 尤超, 姜婷婷, 等. 数字乳腺断层摄影的影像组学对乳腺癌分子分型预测研究[J]. *肿瘤影像学*, 2023, 32(1): 12-19.
- [16] XING D, LV Y, SUN B, *et al.* Develop and validate a nomogram combining contrast-enhanced spectral mammography deep learning with clinical-pathological features to predict neoadjuvant chemotherapy response in patients with er-positive/her2-negative breast cancer [J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(9): 3524-3534.
- [17] 刘梁生, 马文娟, 张宇, 等. 数字乳腺断层摄影及病理学特征与早期乳腺癌保乳手术结果的相关性研究[J]. *中国肿瘤临床*, 2024, 51(12): 611-615.
- [18] DENG Y, LU Y, LI X, *et al.* Prediction of human epidermal growth factor receptor 2 (HER2) status in breast cancer by mammographic radiomics features and clinical characteristics: a multicenter study [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(8): 5464-5476.
- [19] 舒予静, 何子龙, 曾伟雄, 等. 基于双模态乳腺影像特征的 HER2 表达状态多分类机器学习预测模型构建及可解释性分析研究[J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(8): 1310-1316.
- [20] 李冬雪, 秦锦霞, 庄姗, 等. 数字乳腺三维断层摄影征象与分子分型及组织学分级的关系研究[J]. *现代肿瘤医学*, 2024, 32(16): 3093-3100.

(收稿日期: 2025-06-20)

(修回日期: 2025-09-10)