

· 影像组学与人工智能专题 ·

基于数字化乳腺 X 线影像组学预测浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移的多中心研究

谢玉海, 马培旗, 王小雷, 韩剑剑, 马文俊, 曹雪花, 张宁宁, 杨杨, 胡东

【摘要】 目的:探讨基于多中心数字化乳腺 X 线影像组学预测浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移的临床应用价值。**方法:**回顾性搜集 728 例经病理证实的浸润性乳腺癌患者,按照 7:3 的比例将皖南医学院第一附属医院弋矶山医院 413 例浸润性乳腺癌患者随机拆分为训练组 289 例(淋巴结转移阴性 197 例,淋巴结转移阳性 92 例)和验证组 124 例(淋巴结转移阴性 85 例,淋巴结转移阳性 39 例),将阜阳市人民医院和太和县人民医院浸润性乳腺癌患者共计 315 例(淋巴结转移阴性 221 例,淋巴结转移阳性 94 例)作为外部测试组。对比分析双乳内外斜位(MLO)和头尾位(CC)图像,选取病变面积较大的数字化乳腺 X 线图像使用深睿医疗多模态科研平台进行图像分割及影像组学特征提取,采用特征间线性相关性分析与最小绝对收缩和选择算法(LASSO)对组学特征进行降维并使用支持向量机(SVM)分类器构建影像组学预测模型。采用受试者工作特征(ROC)曲线和决策曲线分析(DCA)评价模型性能。**结果:**最终筛选出 8 个影像组学特征构建预测模型用于预测浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移,该模型的预测效能训练组、验证组和外部测试组分别为 0.807、0.790 和 0.753,敏感度、特异度分别为 84.8%和 61.4%、79.5%和 69.4%、44.7%和 92.8%。决策曲线证实了该模型的临床实用性。**结论:**基于数字化乳腺 X 线影像组学对浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移的预测具有高效能,对患者制定个性化的治疗方案和预后评估有着重要的临床应用价值。

【关键词】 乳腺癌; 数字乳腺 X 线摄影; 腋窝淋巴结转移; 影像组学

【中图分类号】 R737.9; R814.41 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)01-0031-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.01.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Radiomics nomogram based on digital mammography for predicting axillary lymph node metastasis of invasive breast cancer: a multicenter study XIE Yu-hai, MA Pei-qi, WANG Xiao-lei, et al. Department of Radiology, Taihe People's Hospital, Taihe Hospital affiliated to Wannan Medical College, Anhui 236600, China

【Abstract】 Objective: To investigate the clinical value of radiomics nomogram based on multi-center digital mammography in predicting axillary lymph node metastasis of invasive breast cancer. **Methods:** A total of 728 patients with pathologically proven invasive breast cancer were retrospectively collected. 413 patients with invasive breast cancer from Yiji Mountain Hospital, the First Affiliated Hospital of Wannan Medical College, were randomly divided into a training group of 289 patients (197 cases with negative lymph node metastasis and 92 cases with positive lymph node metastasis) and a validation group of 124 patients (85 cases with negative lymph node metastasis and 39 cases with positive lymph node metastasis) in the ratio of 7:3. A total of 315 patients with invasive breast cancer (221 cases with negative lymph node metastasis and 94 cases with positive lymph node metastasis) from Fuyang People's Hospital and Taihe County People's Hospital were selected as the external test groups. The images from medio-lateral oblique (MLO) and cranio-caudal (CC) views of two breasts were compared and analyzed, and the digital mammogram images with larger lesion area were selected

作者单位: 236600 安徽, 太和县人民医院/皖南医学院附属太和医院放射影像科(谢玉海、王小雷、马文俊、曹雪花、张宁宁、杨杨、胡东); 236000 安徽, 安徽省阜阳市人民医院放射影像科(马培旗); 241000 安徽, 皖南医学院第一附属医院/弋矶山医院放射科(韩剑剑)

作者简介: 谢玉海(1985-), 男, 安徽省太和县人, 硕士, 副主任医师, 主要从事放射影像诊断工作。

通讯作者: 胡东, E-mail: 13866238585@163.com

基金项目: 皖南医学院科研项目(项目编号: JXY202139); 北京医学奖励基金会睿影科研基金(编号项目 YXJL-2022-0105-0116)

for image segmentation and radiomics feature extraction using the DeepMed multimodal research platform. The dimension of radiomics features was reduced by Linear correlation analysis between features and Least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) and a prediction model was constructed by a support vector machine (SVM) classifier. The performance of the model was evaluated by Receiver Operating Characteristic (ROC) and Decision Curve Analysis (DCA). **Results:** Eight radiomics features were finally selected to construct a model for predicting axillary lymph node metastasis in invasive breast cancer. The prediction performance of the model was 0.807, 0.790 and 0.753 in the training group, validation group and external test group, respectively, with sensitivities and specificities of 84.8% and 61.4%, 79.5% and 69.4%, 44.7% and 92.8%, respectively. The decision curve confirmed the clinical practicability of the model. **Conclusion:** Radiomics based on digital mammography has high efficiency in predicting axillary lymph nodes metastasis in invasive breast cancer and has important clinical application value for the formulation of individualized treatment plans and prognosis assessment for patients.

【Key words】 Breast cancer; Digital mammography; Axillary lymph node metastasis; Radiomics

乳腺癌(breast cancer, BC)是最常见的癌症之一,也是全世界女性死亡的主要原因^[1],我国女性乳腺癌的发病率和死亡率均居世界首位^[2]。腋窝淋巴结转移(axillary lymph node metastasis, ALNM)在乳腺癌患者中很常见,与疾病的临床分期、治疗方案、手术方式和患者预后密切相关^[3]。目前,乳腺癌患者的腋窝淋巴结转移状况是通过前哨淋巴结活检(sentinel lymph node biopsy, SLNB)或腋窝淋巴结清扫(axillary lymph node dissection, ALND)来证实的,但这些手术有一定风险,可能会导致肿瘤植入性转移、邻近血管神经损伤以及上肢淋巴水肿等^[4]。数字化乳腺 X 线摄影(digital mammography, DM)是乳腺癌体检筛查的常用检查方法,但评估腋窝淋巴结是否存在转移的准确性较低^[5]。影像组学通过提取肉眼无法观察的高通量图像特征来预测恶性肿瘤的生物学行为^[6]。基于数字乳腺 X 线影像中包含的影像组学特征组合或单一影像组学特征的分析可靠、准确、非侵入性和经济有效地评估乳腺癌的特征,在预测组织学分级、ALNM、侵袭性、受体状态、Ki-67 增殖状态、分子亚型以及复发和生存方面具有很大潜力^[7-11]。虽然已有研究基于多参数 MRI 影像组学特征预测乳腺癌腋窝淋巴结转移^[12],但基于 DM 影像组学预测浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移的报道较少,且多为单中心研究^[13-14]。因此,本研究旨在探讨基于多中心 DM 影像组学预测浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移的临床应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

回顾性分析 2016 年 12 月至 2021 年 12 月间皖南医学院第一附属医院弋矶山医院(机构 1)、2018 年 1 月至 2021 年 6 月间阜阳市人民医院(机构 2)、2016 年

7 月至 2022 年 3 月间太和县人民医院(机构 3)经病理证实的女性乳腺癌患者 728 例,其中皖南医学院第一附属医院弋矶山医院 413 例、阜阳市人民医院和太和县人民医院共计 315 例。病例纳入标准:①经病理证实为浸润性癌;②X 线检查前无穿刺、手术或新辅助化疗史等;③乳腺 X 线检查后 2 周内行穿刺或手术切除。病例排除标准:①病变显示不清或瘤体显示不全,无法行感兴趣区(region of interest, ROI)勾画;②有其他恶性肿瘤病史。将机构 1 乳腺癌患者随机拆分为训练组($n=289$)和验证组($n=124$),将机构 2 和机构 3 乳腺癌患者视作外部测试组($n=315$)。本研究为回顾性研究,经医院伦理委员会审批通过免除患者知情同意。

2. 检查方法

机构 1 采用美国 HOLOGIC 数字化乳腺 X 线机,型号为 selenia dimensions,图像尺寸为 $24\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。机构 2 采用 GE 数字化乳腺 X 线机,型号为 Senographe Ess entail,图像尺寸为 $24\text{ cm} \times 31\text{ cm}$ 。机构 3 采用联影数字化乳腺 X 线机,型号为 uMammo 590i,图像尺寸为 $24\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 。拍摄体位均包括双侧乳腺头尾位(cranial caudal, CC)和内外侧斜位(mediolateral oblique, MLO),曝光条件采用全自动曝光模式。本研究在特征提取前对所有图像均进行分辨率重采样以避免因扫描机器参数不同导致的误差,重采样像素间距设为(1.0, 1.0, 1.0)。

3. 病灶分割与特征提取

将所有患者 X 线图像从 PACS 工作站以 DICOM 格式导出后导入深睿医疗多模态科研平台(<https://keyan.deepwise.com>)进行图像分割及特征提取、降维。图像分割由 2 位具有 5 年诊断经验的放射科医师 A 和 B 完成。在进行分割时,2 位放射科医生在被告

知肿瘤的确切位置后手动勾画分割病灶,结合 CC 位和 MLO 位选择病灶显示最清晰且面积最大的体位进行 ROI 勾画(图 1),医师 A 于 2 周后再次对 DM 图像进行 ROI 勾画。图像通过均一化处理后自动提取 1562 个组学特征,包括一阶特征 324 个、形状特征 14 个、灰度共生矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)特征 396 个、灰度区域矩阵(gray level co-occurrence matrix, GLCM)特征 288 个、灰度游程矩阵(gray level run length matrix, GLRLM)特征 288 个、灰度相依矩阵(gray level dependence matrix, GLDM)特征 252 个。

4.特征筛选与建模

第一步将所有样本量的特征参数通过特征剔除(剔除缺失值≥10%的特征)和组间相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)筛选出一致性较好的非零组学特征(ICC>0.85)。第二步使用深睿医疗

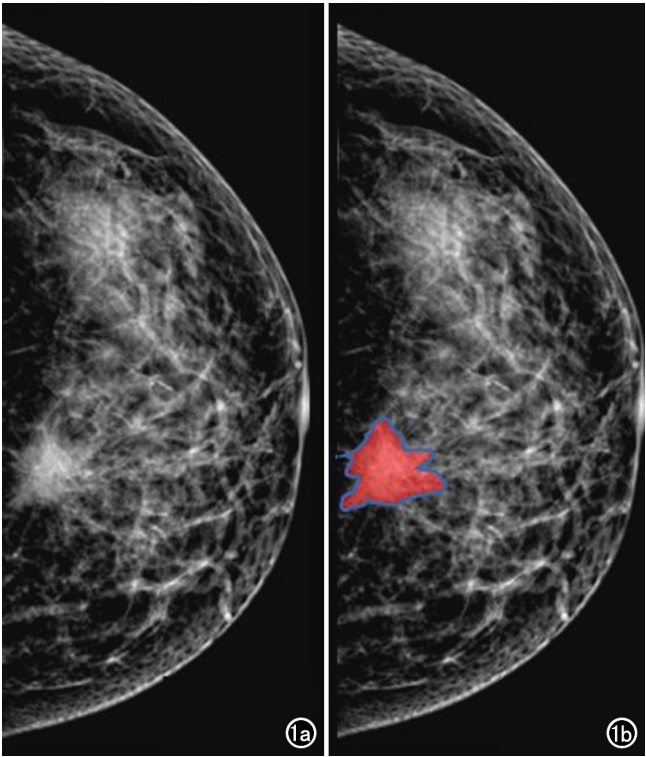


图 1 a) 乳腺癌肿块原始图像;b) 手动勾画 ROI 示意图(红色区域)。

多模态科研平台,将机构 1 样本量按照 7:3 随机拆分为训练组和验证组,将机构 2 和机构 3 样本量作为外部测试组,在训练组中通过特征间线性相关性分析,相关系数(coefficient, C)=0.8 与最小绝对收缩和选择算法(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)方法进行特征降维筛选出最优组学特征,使用支持向量机(support vector machine, SVM)分类器参与构建影像组学模型,验证组和外部测试组对模型的稳定性与可重复性进行验证。

5.统计学分析

采用 R 软件(Version3.6.0)进行统计学分析。采用 ICC 评估影像组学特征提取的观察者间和观察者内的一致性。使用 MedCalc 软件(Version19.0.2)绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,采用曲线下面积(area under curve, AUC)和决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评价模型性能。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1.病例资料

本研究纳入的皖南医学院第一附属医院弋矶山医院 413 例浸润性乳腺癌患者随机拆分为训练组 289 例(淋巴结转移阴性 197 例,淋巴结转移阳性 92 例)和验证组 124 例(淋巴结转移阴性 85 例,淋巴结转移阳性 39 例);阜阳市人民医院和太和县人民医院浸润性乳腺癌患者共计 315 例(淋巴结转移阴性 221 例,淋巴结转移阳性 94 例)作为外部测试组。训练组年龄 30~84 岁,平均(53.55±9.70)岁;验证组年龄 33~78 岁,平均(55.19±9.83)岁;外部测试组年龄 23~84 岁,平均(53.04±10.20)岁。

2.影像组学特征筛选及模型构建

第一步通过特征剔除(剔除缺失值≥10%的特征)和组间相关系数(ICC>0.85)分析剔除 558 个特征。剩余 1004 个组学特征通过特征间线性相关性分析($C=0.8$)和 LASSO 回归进行特征降维后筛选出 8 个与浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移预测最相关的影像组学特征(表 1),经支持向量机分类器构建预测模型。

表 1 影像组学预测浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移的最优特征

特征名称	特征系数	t/Z 值	P 值
exponential_glcml_ClusterShade	0.3121	-3.191	0.001
exponential_gldm_SmallDependenceLowGrayLevelEmphasis	0.0225	-3.882	<0.001
exponential_glrml_ShortRunLowGrayLevelEmphasis	0.7682	-1.993	0.046
gradient_glcml_Imc1	-0.2977	-2.140	0.032
lbp-2D_gldm_SmallDependenceEmphasis	0.2386	-2.593	0.010
lbp-2D_glrml_RunLengthNonUniformity	0.8265	-4.088	0.001
logarithm_glcml_Imc2	0.141	-3.076	0.002
wavelet-LLL_glcml_Contrast	0.4043	-4.060	<0.001

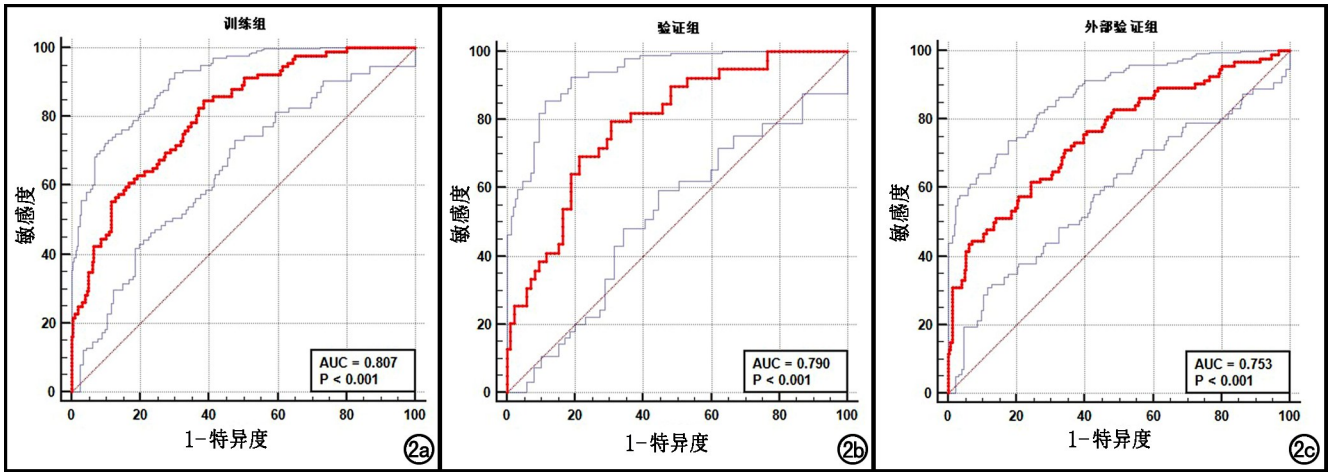


图 2 预测模型训练组、验证组及外部测试组 ROC 曲线。a) 训练组;b) 验证组;c) 外部测试组。

3.影像组学预测模型的诊断效能

预测模型在训练组、验证组、外部测试组中预测乳腺癌腋窝淋巴结转移的 AUC 分别为 0.807、0.790、0.753,敏感度、特异度分别为 84.8%和 61.4%、79.5%和 69.4%、44.7%和 92.8%(表 2、图 2)。决策曲线分析结果显示在概率值为 15%~80%时,预测模型鉴别乳腺癌腋窝淋巴结转移具有较好的净收益(图 3)。

表 2 预测模型在三组间的诊断效能

组别	AUC	95%CI	最佳界值	敏感度	特异度
训练组	0.807	0.755~0.858	0.245	0.848	0.614
验证组	0.790	0.707~0.873	0.291	0.795	0.694
外部验证组	0.753	0.692~0.814	0.423	0.447	0.928

讨 论

乳腺 X 线摄影是目前临床乳腺癌筛查最常用的影像学方法之一。本研究基于 DM 影像组学研究方法,通过多中心大样本构建影像组学模型用于预测浸润性乳腺癌发生腋窝淋巴结转移的可能性,从而进一步挖掘 DM 的潜能,使患者和临床受益。

腋窝淋巴结转移对于评估乳腺癌患者的预后和制定治疗方案具有重要意义^[15],腋窝淋巴结清扫术是确定腋窝淋巴结状况的最可靠方法,但手术会引起术区

感染、神经血管损伤、功能区障碍以及植入性转移等并发症^[16]。因此,为了减少不必要的手术损伤及过度医疗给患者造成的负担,迫切需要一种新的术前预测方式,在提高诊断准确性的同时非侵入性地判断腋窝淋巴结是否存在转移。虽然影像学检查可以显示肿大的淋巴结形态学特征,但是无法与一些炎性淋巴结区分^[5]。本研究通过乳腺 X 线摄影图像构建的影像组学模型在训练组、验证组及外部测试组中的 AUC 分别为 0.807、0.790 和 0.753,诊断效能较传统影像学检查方法得到进一步提高。陈春发等^[17]研究表明,乳腺 X 线摄影诊断乳腺癌 ALNM 与病理诊断的一致性检验 Kappa 值仅为 0.354。

影像组学可以提取高通量的组学特征,并通过分析获取一些肉眼无法识别的纹理特征及高阶特征^[18-19]。本研究最终筛选出 8 个与腋窝淋巴结转移相关的影像组学特征用于构建预测模型,其中 1 个灰度依赖矩阵特征(exponential_gldm_SmallDependenceLowGrayLevelEmphasis)、2 个灰度游程矩阵特征(lbp-2D_glrmlm_RunLengthNonUniformity、exponential_glrmlm_ShortRunLowGrayLevelEmphasis)、4 个灰度共生矩阵特征(exponential_glcml_ClusterShade、wavelet-LLL_glcml_Contrast、gradient_glcml_Imc1、logarithm_glcml_Imc2)。灰度共生矩阵(glcml)中的 Cluster Shade 是衡量偏度和均匀度的纹理特征。李翠平等^[20]研究表明宫颈癌 Ki-67 低表达组的 Cluster Shade 值低于高表达组,而本研究结果也表明浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移组的 Cluster Shade 值高于非转移组。glcml 中的 Contrast、Imc1 和 Imc2 主要反映纹理的粗糙性和复杂性,其绝对值越高,说明图像越粗糙、纹理越复杂,肿瘤的异质性越高。本研究腋窝淋巴结转移组的 glcml_Contrast、glcml_Imc1 和 glcml_Imc2 的绝对值均高于非转移组,说明腋窝淋巴结转移

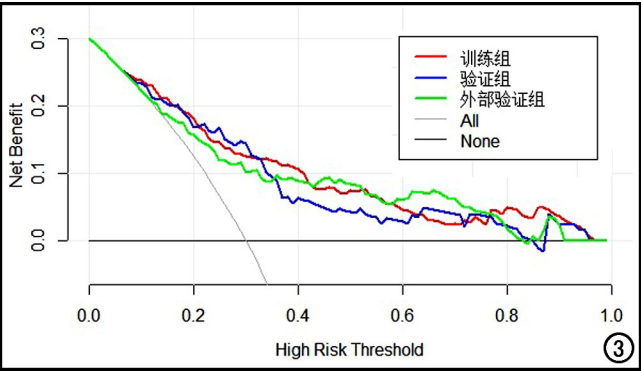


图 3 预测模型的决策曲线。

组的肿瘤异质性较高。朱海涛等^[21]的研究结果也证实 glcm_Contrast 值越高,肿瘤的恶性程度越高。灰度依赖矩阵(GLDM)参数是描述图像中的灰度相关性,是基于中心像素或体素与其邻近区域之间的灰度关系,其中 Small Dependence Low Gray Level Emphasis 是计算 ROI 中小相关性与图像中较暗部分的分散情况。本研究发现腋窝淋巴结转移组的 Small Dependence Low Gray Level Emphasis 值高于非转移组,说明 ALNM 组的图像均匀性差,笔者认为这可能是由于 ALNM 组的恶性程度高、瘤内易发生坏死所致。灰度游程矩阵(glrlm)中的 Run Length Non Uniformity 和 Short Run Low Gray Level Emphasis 主要描述像素值的分布情况,前者描述整个图像中游程长度的相似性,后者测量图像中较短游程长度与较低灰度值的联合分布,两者的值越大,像素分布越不均匀,纹理越粗糙。本研究发现 ALNM 组的 Run Length Non Uniformity 和 Short Run Low Gray Level Emphasis 值高于非转移组,说明 ALNM 组的 DM 图像纹理较非转移组更粗糙。此外,本研究最终采用支持向量机分类器(SVM),因为它是一种常用而有效的算法,该算法具有精度高、计算能力小等优点,SVM 在识别复杂数据集中的微妙模式方面非常强大^[22]。刘畅等^[23]使用支持向量机分类器构建预测模型,能够在术前无创评估和预测肝细胞癌微血管浸润,可作为指导临床后续个性化治疗的有效工具。

本研究存在以下局限性:①影像组学特征是在二维图像上进行手动勾画后提取,存在一定的人为误差;②在选择病灶方面仅从 MLO 位和 CC 位两者之一选择病灶最大层面进行 ROI 勾画,缺乏一定的对比,可能遗漏部分特征,影响最终预测效能;③未将基于 DM 影像组学标签与 MRI 影像组学特征预测腋窝淋巴结转移的效能进行比较。本研究结果与 Han 等^[24]和 Mao 等^[25]基于磁共振动态增强图像的影像组学预测乳腺癌 ALNM 的效能一致,而 Yu 等^[26]联合磁共振增强 T₁WI、T₂WI 和扩散加权成像 ADC 图构建的影像组学模型预测乳腺癌 ALNM 的效能在训练集和验证集分别为 0.88 和 0.85,高于本研究结果。因此,今后将通过前瞻性设计,开展比较 DM 影像组学标签与 MRI 影像组学标签预测乳腺癌 ALNM 效能的后续研究。

综上所述,基于乳腺 X 线摄影的影像组学预测模型可作为一种非侵入性工具,对浸润性乳腺癌腋窝淋巴结转移具有较高的诊断效能,对乳腺癌患者制定个性化的治疗方案和预后评估有着重要的临床应用价值。

参考文献:

- [1] Wang X, Xie T, Luo J, et al. Radiomics predicts the prognosis of patients with locally advanced breast cancer by reflecting the heterogeneity of tumor cells and the tumor microenvironment[J]. *Breast Cancer Res*, 2022, 24(1): 20.
- [2] 张雪, 董晓平, 管雅喆, 等. 女性乳腺癌流行病学趋势及危险因素研究进展[J]. *肿瘤防治研究*, 2021, 48(1): 87-92.
- [3] Zhang J, Li L, Zhe X, et al. The diagnostic performance of machine learning-based radiomics of DCE-MRI in predicting axillary lymph node metastasis in breast cancer: a meta-analysis[J]. *Front Oncol*, 2022, 12(4): 799209.
- [4] Kootstra J, Hoekstra-Weebers JE, Rietman H, et al. Quality of life after sentinel lymph node biopsy or axillary lymph node dissection in stage I/II breast cancer patients: a prospective longitudinal study[J]. *Ann Surg Oncol*, 2008, 15(9): 2533-2541.
- [5] 乔江华, 朱立元, 韦伟. 数字化钼靶检查在判断乳腺癌腋窝淋巴结转移中的价值探讨[J]. *临床外科杂志*, 2007, 15(11): 751-752.
- [6] 杨采薇, 刘曦娇, 魏毅, 等. CT 影像组学联合传统影像特征对胃肠道间质瘤 Ki-67 指数表达的预测价值[J]. *放射学实践*, 2022, 37(9): 1068-1073.
- [7] Siviengphanom S, Gandomkar Z, Lewis SJ, et al. Mammography-based radiomics in breast cancer: a scoping review of current knowledge and future needs[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(8): 1228-1247.
- [8] 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.
- [9] Jiang T, Song J, Wang X, et al. Intratumoral and peritumoral analysis of mammography, tomosynthesis, and multiparametric MRI for predicting Ki-67 level in breast cancer: a radiomics-based study[J]. *Mol Imaging Biol*, 2022, 24(4): 550-559.
- [10] Wang G, Shi D, Guo Q, et al. Radiomics based on digital mammography helps to identify mammographic masses suspicious for cancer[J]. *Front Oncol*, 2022, 12(1): 843436.
- [11] 张玉姣, 宋德领, 王燕飞, 等. 基于乳腺 X 线图像影像组学列线图对乳腺癌腋窝淋巴结转移的预测价值[J]. *放射学实践*, 2022, 37(1): 48-54.
- [12] 姜原, 马明明, 程元甲, 等. 基于乳腺癌动态增强 MRI 图像的影像组学特征预测腋窝淋巴结转移的可行性研究[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56(6): 631-635.
- [13] Tan H, Wu Y, Bao F, et al. Mammography-based radiomics nomogram: a potential biomarker to predict axillary lymph node metastasis in breast cancer[J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1111): 20191019.
- [14] Yang J, Wang T, Yang L, et al. Preoperative prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer using mammography-based radiomics method[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 4429.
- [15] Hu J, Xia X, Yang H, et al. Dissection of level III axillary lymph nodes in breast cancer[J]. *Cancer Manag Res*, 2021, 13(26): 2041-2046.
- [16] 马芹芹, 冯雯, 陈圆圆, 等. 术前 MRI 预测乳腺癌腋窝淋巴结转移的研究进展[J]. *磁共振成像*, 2022, 13(9): 151-155.
- [17] 陈春发, 张玉铃, 林豪雨, 等. 乳腺彩超和 X 线摄影在乳腺癌早期淋巴结的评估作用[J]. *汕头大学医学院学报*, 2016, 29(2): 109-110, 115.

- [18] Yan BC, Li Y, Ma FH, et al. Radiologists with MRI-based radiomics aids to predict the pelvic lymph node metastasis in endometrial cancer: a multicenter study[J]. Eur Radiol, 2021, 31(1): 411-422.
- [19] Rogers W, Thulasi Seetha S, Refaee TAG, et al. Radiomics: from qualitative to quantitative imaging [J]. Br J Radiol, 2020, 93(1108): 20190948.
- [20] 李翠平, 郑明雪, 董江宁, 等. 基于 MR T₂WI 的纹理分析术前预测宫颈鳞癌 Ki-67 表达水平的研究[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(5): 786-790, 800.
- [21] 朱海涛, 张晓燕, 李晓婷, 等. 基线 MRI 中直肠癌原发灶与淋巴结交互特征预测新辅助治疗后淋巴结状态[J]. 肿瘤影像学, 2022, 31(2): 113-120.
- [22] Huang S, Cai N, Pacheco PP, et al. Applications of support vector machine (SVM) learning in cancer genomics[J]. Cancer Genomics Proteomics, 2018, 15(1): 41-51.
- [23] 刘畅, 赵泓博, 黄京城, 等. 基于 CT 增强影像组学的支持向量机模型术前预测肝细胞癌微血管浸润的研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(12): 2390-2396.
- [24] Han L, Zhu YB, Liu Z, et al. Radiomic nomogram for prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer[J]. Eur Radiol, 2019, 29(7): 3820-3829.
- [25] Mao N, Dai Y, Lin F, et al. Radiomics nomogram of DCE-MRI for the prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer [J]. Front Oncol, 2020, 10(27): 541849.
- [26] Yu YF, Tan YJ, Xie CM, et al. Development and validation of a preoperative magnetic resonance imaging radiomics-based signature to predict axillary lymph node metastasis and disease-free survival in patients with early-stage breast cancer [J]. JAMA Netw Open, 2020, 3(12): e2028086.

(收稿日期: 2022-12-29 修回日期: 2023-04-13)

欢迎订阅 2024 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管, 华中科技大学同济医学院主办, 与德国合办的全国性影像学学术期刊, 创刊至今已 39 周年。遵照同行评议、价值导向、等效应用原则, 国内各大学会、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序, 《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。《放射学实践》杂志再次入选 2020 年版北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向, 关注国内外影像医学的新进展、新动态, 全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果, 受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、中国科技核心期刊、中国高质量科技期刊分级目录临床医学领域医学影像学期刊, 并在中国学术期刊分区中位列 Q1 区。

主要栏目: 论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊, 每册 25 元, 全年定价 300 元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号: 38-122

电话: (027) 69378385

E-mail: fsxsjzz@163.com 网址: <http://www.fsxsj.net>

编辑部地址: 430199 武汉市蔡甸区中法新城同济医院专家社区别墅 C 栋