

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2025.07.013

医学影像物理

## 基于磁共振弥散加权成像的影像组学列线图预测乳腺癌 Ki-67 表达的可行性

许俊丽, 谭学渊, 温志玲, 梁钰笛

广东医科大学附属第二医院放射影像科, 广东 湛江 524000

**【摘要】目的:**探讨磁共振弥散加权成像(DWI)影像组学列线图预测乳腺癌 Ki-67 表达的可行性。**方法:**回顾性收集广东医科大学附属第二医院手术病理证实的乳腺癌患者资料,所有患者均进行 Ki-67 表达染色检测。将 Ki-67 低表达为 A 组 ( $n=28$ ), Ki-67 高表达为 B 组 ( $n=73$ ),以 DWI 图像生成表观弥散系数(ADC)图,比较两组患者 ADC 图像影像组学特征与临床数据,采用 LASSO 降维后特征进行预测乳腺癌 Ki-67 表达高低并建立列线图模型。对列线图预测模型进行受试者工作特征曲线分析诊断效能。**结果:**两组患者 ADC 值、年龄、糖类抗原 199、糖类抗原 153、糖类抗原 125、癌胚抗原均无统计学差异 ( $P>0.05$ )。经过 LASSO 回归后共 2 个影像组学特征因子纳入评估预测乳腺癌 Ki-67 表达, LASSO 的最佳调谐 Lambda 为 -0.125 690 135 478 682, 纳入影像组学特征为 MinIntensity、Quantile95, 并建立列线图, 列线图 ROC 曲线下面积为 0.917, 最佳敏感度和特异性分别为 91.7%、83.3%。**结论:**基于 ADC 图像影像组学特征可预测乳腺癌 Ki-67 表达高低程度, 可为评估乳腺癌增殖程度和治疗预后提供无创性检测手段。

**【关键词】**乳腺癌; 磁共振成像; 弥散加权成像; 表观弥散系数; Ki-67 表达; 列线图

**【中图分类号】**R318; R737.9

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2025)07-0929-06

### Feasibility of predicting Ki-67 expression in breast cancer using radiomics nomogram based on magnetic resonance diffusion weighted imaging

XU Junli, TAN Xueyuan, WEN Zhiling, LIANG Yudi

Department of Radiology and Imaging, the Second Affiliated Hospital of Guangdong Medical University, Zhanjiang 524000, China

**Abstract: Objective** To explore the feasibility of radiomics nomogram based on magnetic resonance diffusion weighted imaging for predicting the expression of Ki-67 in breast cancer. **Methods** A retrospective study was conducted on patients with breast cancer confirmed by surgery and pathology in the Second Affiliated Hospital of Guangdong Medical University. All patients were detected by Ki-67 expression staining, and then divided into group A ( $n=28$ , low-level expression of Ki-67) and group B ( $n=73$ , high-level expression of Ki-67). The apparent diffusion coefficient (ADC) graph was generated from diffusion weighted images, and the two groups were compared for radiomics features of ADC images and clinical data. The expression level of Ki-67 in breast cancer was predicted using the features of LASSO after dimensionality reduction, and a nomogram model was established, whose diagnostic efficiency was analyzed with receiver operating characteristic curve. **Results** No significant difference was observed in ADC value, age, carbohydrate antigen 199, carbohydrate antigen 153, carbohydrate antigen 125 and carcinoembryonic antigen between two groups ( $P>0.05$ ). LASSO regression identified two radiomics features as predictors for the expression level of Ki-67 in breast cancer. The best tuning Lambda of LASSO was -0.125 690 135 478 682, and the included radiomics features for nomogram establishment were MinIntensity and Quantile95. The established nomogram had an area under ROC curve of 0.917, achieving a sensitivity of 91.7% and a specificity of 83.3%. **Conclusion** The expression of Ki-67 in breast cancer can be predicted based on the radiomics features of ADC images, which can provide a noninvasive detection method for evaluating the proliferation degree and treatment prognosis of breast cancer.

**Keywords:** breast cancer; magnetic resonance imaging; diffusion weighted imaging; apparent diffusion coefficient; Ki-67 expression; nomogram

**【收稿日期】**2024-11-16

**【基金项目】**湛江市科技发展专项(2022A01121)

**【作者简介】**许俊丽, 主管技师, E-mail: zjxjunli@163.com

## 前言

全球癌症统计指南发布乳腺癌是女性发病率最高的恶性肿瘤<sup>[1]</sup>。乳腺癌的治疗主要以手术为主,术后病理是诊断乳腺癌的金标准。病理检测 Ki-67 能有效反映肿瘤的增殖情况、侵袭程度、是否容易复发等,因此术后患者均会采取病理切片进行 Ki-67 表达检测。前期研究已经证实 Ki-67 是一种与 RNA 转录相关的核蛋白,在多种恶性肿瘤的治疗中均会参考 Ki-67 表达高低制定方案<sup>[2-3]</sup>。Ki-67 表达与肿瘤的异质性相关,而影像组学的提取也与肿瘤的异质性相关<sup>[4]</sup>,因此是否能利用影像组学进行无创性乳腺癌 Ki-67 表达的检测是目前的研究重点。有研究表明磁共振乳腺动态增强影像组学能有效预测乳腺癌 Ki-67 表达的高低<sup>[5-6]</sup>,然而动态增强检查时间较长且需要使用对比剂,是否能寻找一种无需增强的方式进行无创性预测乳腺癌 Ki-67 表达的方法尚未可知。磁共振弥散加权成像(Diffusion Weighted Imaging, DWI)是一种无需对比剂的磁共振检查序列。DWI 能有效反映乳腺癌中水分子扩散的微观表达,同时利用水分子扩散的受限程度反映肿瘤的侵袭性与内部循环障碍等信息<sup>[7]</sup>。在 DWI 图像中,肉眼无法观察所有细节的变化,而影像组学则完美地解决了人眼不足的问题,可提取出肿瘤中大量图像内不同细微像素变化的区别,并进行定量分析<sup>[8-9]</sup>。本研究采用 DWI 序列生成表观弥散系数(ADC)联合影像组学的方法,建立预测乳腺癌 Ki-67 表达高低的列线图模型,为患者进行无创性 Ki-67 表达预测,以期为临床个性化治疗提供参考证据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性收集 2022 年 1 月~2024 年 4 月间广东医科大学附属第二医院进行乳腺 DWI 扫描患者的临床资料。入组标准:①取得乳腺癌病理结果的患者;②进行免疫组化 Ki-67 表达检测的患者;③DWI 图像无伪影、变形,符合 3D slicer 提取特征要求。排除标准:①病理不符合乳腺癌的患者;②DWI 检查前已经进行手术、放疗、化疗等一种或多种治疗的患者;③DWI 检查前 2 周内行穿刺检查的患者。本次回顾性收集到符合研究的患者 101 例,其中浸润性导管癌 76 例、导管原位癌 13 例、实体性乳头状癌 1 例、浸润性小叶癌 8 例、浸润性导管癌伴导管原位癌 3 例。本回顾性分析研究经广东医科大学附属第二医院伦理委员会审核通过(伦理批号:KT2024-047-01),本研究为回顾性分析,因此免除知情同意。

### 1.2 分组与设备

**1.2.1 分组** 以乳腺癌病理免疫组化 Ki-67 表达结果作为标准,表达高低参照国际乳腺癌专家共识<sup>[7]</sup>,将 Ki-67<20% 定义为 Ki-67 低表达(A 组),将阳性细胞数≥20% 定义为 Ki-67 高表达(B 组),同时记录患者肿瘤标志物数值以及临床相关资料。

**1.2.2 设备** 应用美国通用电气 1.5T 磁共振(GE Optima MR360)进行检查,使用 8 通道乳腺相控线圈。DWI 扫描参数:轴位,采用单次激发自选回波序列(EPI-SE),参数数据模型 reslove, TR=4 968 ms, TE=Minimum 87.3 ms, FOV: 360 mm×360 mm, 矩阵: 160×160, 层厚: 5 mm, 层间距: 1 mm, Average=1。扩散敏感梯度 3 个方向, B 值=800 s/mm<sup>2</sup>。

### 1.3 提取纹理特征

采用 3D slicer 软件(<https://www.slicer.org/>)进行乳腺 ADC 图像的肿块 ROI 勾画。ROI 勾画包括乳腺肿块的全部层面,勾画后层面融合成三维容积感兴趣区(Volume of Interest, VOI),使用软件内置 Radiomics 插件进行影像组学特征提取,提取包括一阶特征(First-order statistics, Firstorder)、灰度共生矩阵(Gray-level Co-occurrence Matrix, GLCM)、灰度依赖矩阵(Grayscale Dependence Matrix, GDMM)、灰度行程矩阵(Gray Level Run Length Matrix, GLRLM)、灰度大小区域矩阵(Gray-level Size Zone Matrix, GLSZM)、相邻灰调差异矩阵(Neighbouring Gray Tone Difference Matrix, NGTDM)、形状特征(Shape Feature, Shape)等共 107 个特征后进行 LASSO 降维(图 1)。3D Slicer 软件的 VOI 勾画由两位工作年限 15 年以上副主任医师进行逐层勾画,获取的 ADC 值与 107 个影像组学特征均进行观察者间一致性分析。

### 1.4 Ki-67 检测

所有患者均在术后获取乳腺癌肿块组织,按说明书使用 Ki-67 单克隆抗体免疫组织化学染色试剂盒进行染色。

### 1.5 特征降维与选择

所有 ADC 值与特征进行一致性 ICC 系数(Intra-class Correlation Coefficient)检验, ICC≥0.75 判定为一致性良好,可纳入下一步数据处理。将 ICC≥0.75 的特征基于最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归模型进行进一步特征降维。调优参数 Lambda 选择 -6 至 2 之间的多个值进行五折交叉验证。

### 1.6 统计学分析

使用 SPSS 22 软件进行统计学处理。符合正态分布的连续性变量采用独立样本 *t* 检验,分类变量采

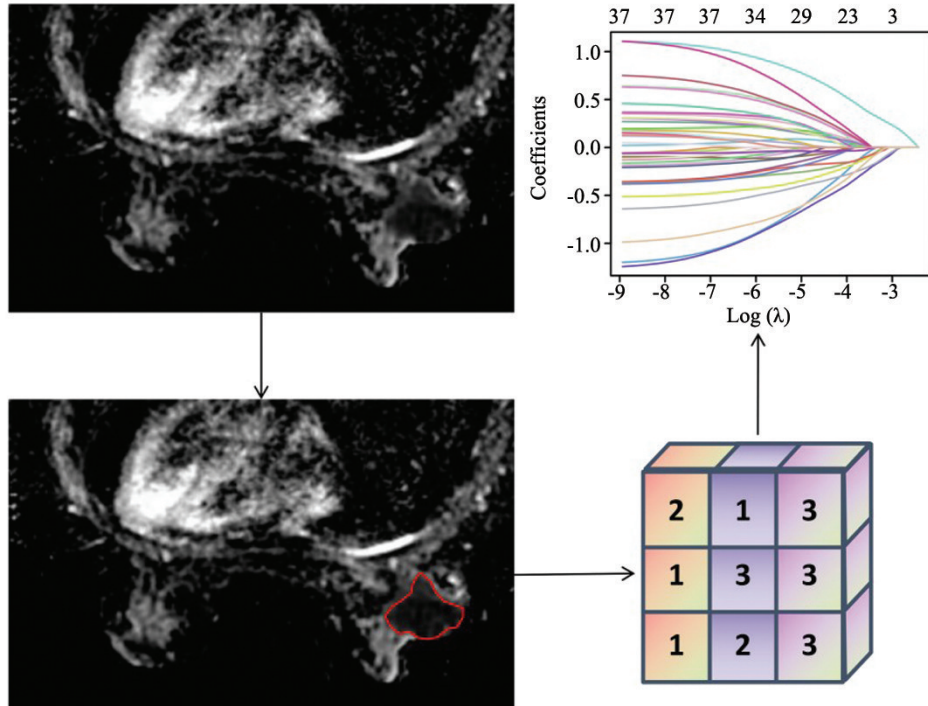


图1 ADC图像影像组学特征勾画与提取示意图

Figure 1 Delineation and extraction of radiomics features of ADC images

用卡方检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。使用 LASSO 回归筛选出预测乳腺癌 Ki-67 表达高低的独立风险因素并建立模型, 将两组患者临床及检验指标进行单因素分析, 将具有统计学意义的指标与影像组学特征纳入多因素 Logistic 回归并建立列线图。使用 medcalc (<https://www.medcalc.org/>) 进行受试者工作特征曲线 (ROC) 分析预测模型诊断效能。

## 2 结果

### 2.1 基线资料比较

两组共 101 例患者, 参数中 ADC 值、糖类抗原 199、糖类抗原 153、糖类抗原 125、癌胚抗原、年龄、病理类型均无统计学差异 ( $P > 0.05$ , 表 1)。107 个影像组学特征 ICC 均  $\geq 0.75$ 。

表 1 两组患者一般资料、肿瘤标志物比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Comparison of general data and tumor markers between two groups (Mean  $\pm$  SD)

参数	A 组 (n=28)	B 组 (n=73)	$t/\chi^2$ 值	P 值
年龄/岁	54.11 $\pm$ 11.61	52.11 $\pm$ 10.16	0.851	0.397
癌胚抗原/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	9.33 $\pm$ 2.81	8.85 $\pm$ 3.44	0.658	0.512
糖类抗原 199/ $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$	43.44 $\pm$ 9.22	46.11 $\pm$ 4.55	-1.942	0.055
糖类抗原 153/ $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$	16.85 $\pm$ 16.85	75.00 $\pm$ 364.38	-0.841	0.402
糖类抗原 125/ $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$	14.03 $\pm$ 9.09	23.09 $\pm$ 37.52	-1.260	0.211
ADC 值/ $\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	15.22 $\pm$ 2.68	14.24 $\pm$ 3.58	1.313	0.192
病理类型			1.976	0.740
浸润性导管癌	21	55		
导管原位癌	4	9		
实体性乳头状癌	0	1		
浸润性小叶癌	3	5		
浸润性导管癌伴导管原位癌	0	3		

### 2.2 特征筛选

两组影像组学特征经过 LASSO 回归后, 共 2 个影像组学特征因子纳入评估预测乳

腺癌 Ki-67 表达, LASSO 的最佳调谐 Lambda 为 -0.125 690 135 478 682 (图 2)。

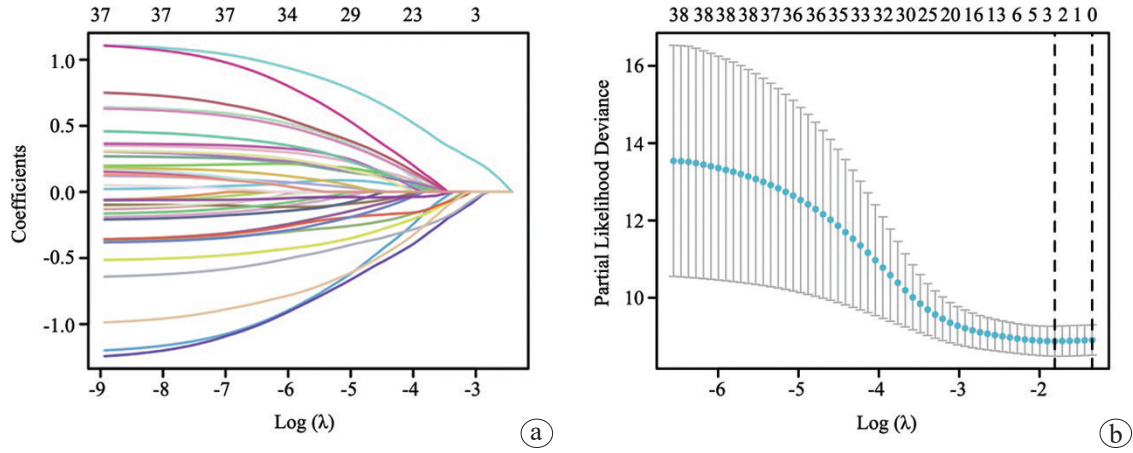


图2 LASSO回归模型影像组学特征选择

Figure 2 Selection of radiomics features of LASSO regression model

a:LASSO模型的调谐参数( $\lambda$ )选择采用五折交叉验证;b:所选特征的LASSO系数分布(y轴),上边x轴表示特征数,下边x轴表示对数( $\lambda$ )

2.3 列线图模型建立

基于2个影像组学特征 (MinIntensity、Quantile95)建立列线图(图3),列线图ROC曲线下

面积为0.917,最佳敏感度及特异性分别为91.7%和83.3%(表2)。

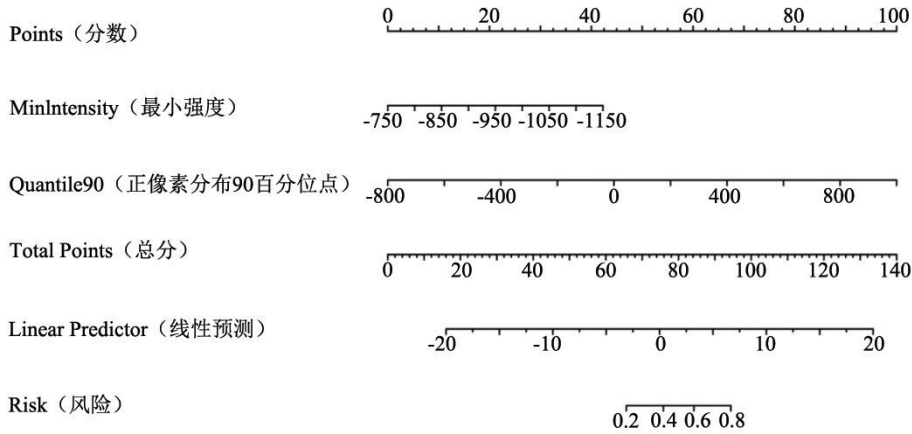


图3 预测乳腺癌Ki-67表达高低列线图

Figure 3 Nomogram for predicting Ki-67 expression in breast cancer

MinIntensity、Quantile90相加分数大于88分时,患者乳腺癌Ki-67高表达的概率为80%

表2 单因素差异与列线图ROC曲线数据表

Table 2 Single-factor difference and nomogram ROC curve analysis results

回归参数	S.E.	AUC	95%CI	敏感度/%	特异性/%	P值
MinIntensity(最小强度)	0.061 2	0.840	0.706~0.930	83.3	80.6	<0.001
MaxIntensity(最大强度)	0.077 1	0.696	0.546~0.820	100.0	41.7	0.011
Frequency Size(频率大小)	0.095 9	0.778	0.635~0.885	83.3	83.8	0.004
Variance(方差)	0.095 9	0.778	0.635~0.885	83.3	83.8	0.005
Quantile90(正像素分布90百分位点)	0.065 0	0.843	0.709~0.932	83.3	63.9	<0.001
Quantile95(正像素分布95百分位点)	0.073 2	0.780	0.637~0.887	83.3	61.1	0.002
列线图	0.042 9	0.917	0.800~0.977	91.7	83.3	<0.001

### 3 讨论

RNA转录与基因编码核蛋白相关,Ki-67属于可反映RNA转录的细胞增殖标志物,在细胞增殖中标志着有丝分裂的增加,与乳腺癌的恶性程度与转移相关<sup>[8-9]</sup>。对于乳腺癌晚期患者或无法进行手术的患者进行靶向治疗、化疗等方法能有效抑制转移,减缓病程发展,而靶向治疗、化疗等方法的选择与疗效均与Ki-67表达高低相关<sup>[10-11]</sup>。因此无创性检测乳腺癌Ki-67表达尤为重要。本研究两组患者糖类抗原199、糖类抗原153、糖类抗原125、癌胚抗原均没有统计学意义( $P>0.05$ ),表明肿瘤标志物无法准确进行Ki-67表达预测,同时本研究两组病理类型没有统计学意义( $P>0.05$ ),表明由病理类型进行Ki-67表达的判断也不准确。

本研究中共提取乳腺癌影像组学特征107个,使用LASSO回归模型降维后筛出2个高权重特征。通过降维的特征MinIntensity、Quantile90诊断效能明显高于其他单因素具有差异的特征。同时基于LASSO回归模型降维后结果进行列线图的建立,其预测乳腺癌Ki-67表达的诊断效能最高,AUC达到0.917,最佳敏感度及特异性分别为91.7%和83.3%。郭艺等<sup>[12]</sup>报道乳腺癌的分叶征是预测Ki-67表达高低的独立风险因素,其AUC为0.817。然而分叶征是医生主观判断的结果,本研究使用的影像组学为客观图像输出,同时建立的列线图模型AUC高于上述研究。有研究表明仅使用ADC值就能预测乳腺癌Ki-67表达的高低<sup>[13]</sup>。本研究得出不同结论,本研究中ADC值在Ki-67高低表达组中无显著差异。本研究分析研究结果的差异可能与扫描时B值设置不同有关,本文扫描设置的B值为800 s/mm<sup>2</sup>,而韩剑剑等<sup>[14]</sup>研究设置的B值为1 000 s/mm<sup>2</sup>。同时上述研究表明ADC值不能敏感地反映肿瘤图像内的细节变化,影像组学则可弥补这一缺陷,影像组学可通过对感兴趣区内的高通量提取获取一系列图像内的细节变化。

本研究LASSO回归模型降维后显示MinIntensity、Quantile90为预测乳腺癌Ki-67表达的最佳因素,建立列线图的ROC曲线下面积为0.917。其中MinIntensity表示图像中测量区域的强度最低像素值,在肿瘤的三维VOI中还可以反映每个元素包含区域内的最低像素点<sup>[15-16]</sup>。本研究中Ki-67高表达组的MinIntensity低于Ki-67低表达组,提示增殖越活跃的乳腺癌更容易发生坏死、液化,导致空间中的最低像素点更多<sup>[17]</sup>,这也与乳腺癌恶性程度相关,符合病理改变的特征。Quantile90表示图像中大部分像素与图像灰度值出现在数据分布的90个百分位点

上,是图像像素与灰度分布不均呈现离散状态的表示<sup>[18-19]</sup>。本研究中Ki-67高表达组的Quantile95高于Ki-67低表达组,提示Ki-67高的肿瘤异质性更强。在肿瘤某一区域集中很多的肿瘤实体,导致图像中的灰度分布不均,而Ki-67低表达的则更均匀,进一步反映了Ki-67与肿瘤分化、转移相关,符合病理改变的特征<sup>[20-22]</sup>。因此本研究经过LASSO回归筛选出的预测因子能有效地从肿瘤分布状态、液化坏死程度的多个维度信息反映乳腺癌的内部特征,进一步预测乳腺癌Ki-67表达,为临床提供无创性预测证据。本研究的不足之处是未考虑DWI扫描中B值设置对图像的影响,同时本研究为单中心样本,对多中心的泛化能力与结合机器学习的数据分析将会在未来多中心研究中进一步验证。

综上所述,基于ADC图像影像组学特征可预测乳腺癌Ki-67表达高低程度,可为评估乳腺癌增殖程度和治疗预后提供无创性检测手段。

### 【参考文献】

- [1] Cao W, Chen HD, Yu YW, et al. Changing profiles of cancer burden worldwide and in China: a secondary analysis of the global cancer statistics 2020[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2021, 134(7): 783-791.
- [2] 梁雪丽,陈贤飞,廖海,等. 肿块型乳腺癌CBBCT特征与Ki-67、HER-2表达的相关性研究[J]. *临床放射学杂志*, 2022, 41(11): 2031-2036.  
Liang XL, Chen XF, Liao H, et al. Cone-beam breast CT features of mass breast cancers: correlation with Ki-67 and HER-2 expression[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2022, 41(11): 2031-2036.
- [3] 刘宏,刘显旺,刘光耀,等. 表观扩散系数术前区分Luminal型与非Luminal型乳腺癌及其与Ki-67增殖指数的相关性研究[J]. *磁共振成像*, 2023, 14(4): 51-56.  
Liu H, Liu XW, Liu GY, et al. The value of apparent diffusion coefficient value in differentiating the Luminal-type and non-Luminal-type breast cancer and evaluating tumor cell proliferation activity[J]. *Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2023, 14(4): 51-56.
- [4] Sim KC, Park BJ, Han NY, et al. Efficacy of ZOOMit coronal diffusion-weighted imaging and MR texture analysis for differentiating between benign and malignant distal bile duct strictures[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2020, 45(8): 2418-2429.
- [5] 马辉,李锋,张双,等. 动态增强磁共振成像在乳腺癌诊断中的临床价值及联合Her-2和Ki-67检测对其预后评估的价值研究[J]. *中国医学装备*, 2022, 19(3): 71-75.  
Ma Y, Li F, Zhang S, et al. The diagnostic value of DCE-MRI on breast cancer and the exploration on the value of DCE-MRI combined with HER-2 and Ki-67 in the prognosis assessment of breast cancer[J]. *China Medical Equipment*, 2022, 19(3): 71-75.
- [6] Uncu UY, Aydin Aksu S. Correlation of perfusion metrics with Ki-67 proliferation index and axillary involvement as a prognostic marker in breast carcinoma cases: a dynamic contrast-enhanced perfusion MRI study[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(20): 3260.
- [7] Surov A, Clauser P, Chang YW, et al. Can diffusion-weighted imaging predict tumor grade and expression of Ki-67 in breast cancer? A multicenter analysis[J]. *Breast Cancer Res*, 2018, 20(1): 58.
- [8] 罗与,白岩,王梅云. 影像组学在非霍奇金淋巴瘤诊断、疗效及预后评估中的研究进展[J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(4): 658-661.  
Luo Y, Bai Y, Wang MY. Research progress of imaging in diagnosis, efficacy and prognosis evaluation of non-Hodgkin's lymphoma[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2024, 43(4): 658-661.

- [9] Coşkun Bilge A, Yaltrık Bilgin E, Bulut ZM, et al. Preoperative dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted breast magnetic resonance imaging findings for prediction of lymphovascular invasion of the lesions in node-negative invasive breast cancer[J]. *Can Assoc Radiol J*, 2024, 75(2): 386-396.
- [10] Morigi C. Highlights of the 16th St Gallen International Breast Cancer Conference, Vienna, Austria, 20-23 March 2019: personalised treatments for patients with early breast cancer[J]. *Ecancermedalscience*, 2019, 13: 924.
- [11] 陈平, 代国坡, 蔡礼彬. 基于CT纹理分析预测食管鳞癌患者Ki-67表达状态的应用价值[J]. *实用放射学杂志*, 2024, 40(2): 204-208.  
Chen P, Dai GP, Cai LB. Application value of CT texture analysis for evaluating Ki-67 expression in patient with esophageal squamous cell carcinoma[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2024, 40(2): 204-208.
- [12] 郭艺, 文娣娣, 刘会佳, 等. 基于MRI特征构建模型预测乳腺癌Ki-67表达水平[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2024, 21(4): 220-223.  
Guo Y, Wen DD, Liu HJ, et al. Models based on MRI features for predicting Ki-67 expression level of breast cancer[J]. *Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy*, 2024, 21(4): 220-223.
- [13] 赵阳, 王琛, 邓文娟, 等. 新辅助化疗前后乳腺癌液实性区表观扩散系数与Ki-67的相关性研究[J]. *实用放射学杂志*, 2022, 38(2): 232-235.  
Zhao Y, Wang C, Deng WJ, et al. Correlation between apparent diffusion coefficient and Ki-67 index during neoadjuvant chemotherapy in breast cancer fluid solid area[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2022, 38(2): 232-235.
- [14] 韩剑剑, 马文俊, 马培旗, 等. 基于DCE-MRI影像组学特征联合ADC值预测乳腺癌Ki-67表达水平[J]. *磁共振成像*, 2023, 14(8): 63-67.  
Han JJ, Ma WJ, Ma PQ, et al. Imaging radiomics features based on DCE-MRI combined with ADC in predicting expression level of Ki-67 in breast cancer[J]. *Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2023, 14(8): 63-67.
- [15] 张智伟, 骆颖波, 杨诗慧, 等. Ki-67表达水平与Luminal B型乳腺癌患者生存预后的关系[J]. *中国妇幼保健*, 2024, 39(16): 3140-3144.  
Zhang ZW, Luo YB, Yang SH, et al. Relationship between Ki-67 expression level and survival prognosis of patients with Luminal B breast cancer[J]. *Maternal and Child Health Care of China*, 2024, 39(16): 3140-3144.
- [16] Nie TT, Feng MW, Yang K, et al. Correlation between dynamic contrast-enhanced MRI characteristics and apparent diffusion coefficient with Ki-67-positive expression in non-mass enhancement of breast cancer[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 21451.
- [17] 叶浩翔, 刘志锋, 阮耀钦, 等. 基于CT平扫图像纹理分析预测高血压脑出血患者预后研究[J]. *实用放射学杂志*, 2023, 39(3): 345-349.  
Ye HY, Liu ZF, Ruan YQ, et al. The study on predicting the prognosis of patients with hypertensive cerebral hemorrhage based on the texture analysis of non-contrast CT[J]. *Journal of Practical Radiology*, 2023, 39(3): 345-349.
- [18] Gang GJ, Deshpande R, Stayman JW. Standardization of histogram- and gray-level co-occurrence matrices-based radiomics in the presence of blur and noise[J]. *Phys Med Biol*, 2021, 66(7): 074004.
- [19] 崔延华, 朱健, 李云. 基于乳腺X线影像组学特征预测乳腺肿块良恶性的可行性分析[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(7): 1296-1301.  
Cui YH, Zhu J, Li Y. Texture features from mammography may predict the characterization of breast tumors[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2020, 39(7): 1296-1301.
- [20] 何飞, 黄忠江, 武沛增, 等. 全视野数字化乳腺X线摄影影像组学及深度学习特征预测乳腺癌HER-2状态[J]. *分子影像学杂志*, 2024, 47(8): 804-810.  
He F, Huang ZJ, Wu PZ, et al. Study on predicting breast cancer HER-2 status through full-field digital mammography radiomic and deep learning features[J]. *Journal of Molecular Imaging*, 2024, 47(8): 804-810.
- [21] 夏旭东, 段成洲, 李铭, 等. 基于MRI影像组学列线图预测乳腺癌腋窝淋巴结转移[J]. *磁共振成像*, 2022, 13(1): 118-122.  
Xia XD, Duan CZ, Li M, et al. Prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer based on radiomics nomogram of MRI [J]. *Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2022, 13(1): 118-122.
- [22] 赵楠楠, 朱芸, 汤晓敏, 等. 基于癌内及癌周MRI影像组学列线图预测乳腺癌腋窝淋巴结转移[J]. *磁共振成像*, 2023, 14(3): 81-87.  
Zhao NN, Zhu Y, Tang XM, et al. Prediction of axillary lymph node metastasis in breast cancer based on intra-tumoral and peri-tumoral MRI radiomics nomogram[J]. *Chinese Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2023, 14(3): 81-87.
- [23] Fan M, He T, Zhang P, et al. Heterogeneity of diffusion-weighted imaging in tumours and the surrounding stroma for prediction of Ki-67 proliferation status in breast cancer[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 2875.
- [24] Chaudhary N, Zhang GL, Li SH, et al. Monoexponential, biexponential and stretched exponential models of diffusion weighted magnetic resonance imaging in glioma in relation to histopathologic grade and Ki-67 labeling index using high B values[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(11): 12480-12494.
- [25] Iima M, Kataoka M, Honda M, et al. Diffusion-weighted MRI for the assessment of molecular prognostic biomarkers in breast cancer [J]. *Korean J Radiol*, 2024, 25(7): 623-633.

(编辑:黄开颜)