



· 论 著 ·

基于Kaiser评分的乳腺癌多参数诊断预测模型的构建及效果评价

付凡欣, 卢艳会, 王婉婷, 高超, 韩智泉, 罗春燕, 李俊

昆明医科大学第一附属医院医学影像科, 云南 650032

[摘要] 目的: 构建基于Kaiser评分的临床-影像多参数Kaiser诊断预测优化模型(简称“Kaiser⁺模型”)并进行验证,旨在提高对乳腺癌灶恶性风险的诊断效能。方法: 收集2020年9月—2023年11月于昆明医科大学第一附属医院行乳腺X线摄影和磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查的患者的临床及影像学资料,所有病灶均经病理学检查证实。将病灶按照7:3的比例随机分成训练集和验证集。收集以下参数,临床因素包括患者年龄、初潮年龄、绝经情况、乳腺癌家族史、体重指数(body mass index, BMI);乳腺X线摄影影像参数包括纤维腺体类型、微钙化;乳腺MRI影像参数包括背景实质强化、病灶类型(肿块/非肿块)、形状、边缘、瘤周水肿、病灶内部强化模式、肿瘤周围血管征、时间-信号强度曲线(time-signal intensity curve, TIC)类型、弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)边缘征、表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值、乳头凹陷、皮肤增厚或回缩。依据Kaiser评分流程图对每个病灶进行评分。采用 t 检验和 χ^2 检验单因素分析筛选预测变量,采用多因素logistic回归构建诊断预测模型,绘制列线图。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线的曲线下面积(area under curve, AUC)比较Kaiser⁺模型和Kaiser评分的诊断效能;绘制校准曲线评估模型的校准能力;采用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评估模型在临床决策中的效用。结果: 本研究纳入347例患者,共347个病灶,其中恶性217个,良性130个。单因素分析显示,年龄、绝经情况、乳头凹陷、皮肤回缩/增厚、微钙化、病灶类型(肿块/非肿块)、形状、周围血管征、DWI边缘征、ADC是Kaiser评分所用指标之外的有效预测因素。Kaiser⁺模型及Kaiser评分在训练集中的AUC分别为0.962、0.914,差异有统计学意义($Z=3.363$, $P<0.01$),两者在验证集中的AUC分别为0.976、0.913,差异有统计学意义($Z=2.862$, $P<0.01$)。校准曲线显示Kaiser⁺模型的校准度良好;DCA显示Kaiser⁺模型具有较高的临床应用价值。结论: 本研究设计的Kaiser⁺模型能在术前用于预测乳腺病变性质,其诊断效能优于经典的Kaiser评分。

[关键词] 乳腺癌; 乳腺良性病变; 磁共振成像; Kaiser评分; 预测模型; 列线图
中图分类号: R737.9; R445.2 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.01.010

基金项目: 云南省科技计划项目资金基础研究计划(昆医联合专项)(202101AY070001-101)。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: (2018)伦审L第23号。

知情同意: 豁免。

引用本文: 付凡欣, 卢艳会, 王婉婷, 等. 基于Kaiser评分的乳腺癌多参数诊断预测模型的构建及效果评价[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(1): 72-83.

Funding: Fundamental Research Program of Yunnan Province Science and Technology Plan Project Fund (Kunming Medical University Joint Special Project, 202101AY070001-101).

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: (2018) Lun-Shen L No. 23.

Informed consent: exemption.

Cite this article: FU F X, LU Y H, WANG W T, et al. Construction and effectiveness evaluation of a multiparametric diagnosis prediction model for breast cancer based on Kaiser score[J]. Oncoradiology, 2026, 35(1): 72-83.

Construction and effectiveness evaluation of a multiparametric diagnosis prediction model for breast cancer based on Kaiser score FU Fanxin, LU Yanhui, WANG Wanting, GAO Chao, HAN Zhiqian, LUO Chunyan, LI Jun (Department of Medical Imaging, First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, Yunnan Province, China)

Correspondence to: LI Jun E-mail: 644814243@qq.com

[Abstract] Objective: To construct and validate a clinical-imaging multiparametric Kaiser diagnostic prediction optimization model

based on the Kaiser score (referred to as the Kaiser⁺ model) for improving the efficacy of diagnosis of malignant risk in breast lesions. **Methods:** Clinical and imaging data of patients who underwent mammography and breast magnetic resonance imaging (MRI) at the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University from September 2020 to November 2023 were collected, and all lesions were confirmed pathologically. The lesions were randomly divided into a training set and a validation set in the ratio of 7:3. The following parameters were collected, clinical factors: patient's age, age at menarche, menopausal status, family history of breast cancer status, body mass index (BMI); Mammography parameters: the amount of fibroglandular tissue (FGT), microcalcification; Breast MRI parameters: background parenchymal enhancement (BPE), lesion type (mass or non-mass), shape, margins, peritumoral edema, internal enhancement pattern, adjacent vessel sign (AVS), time-signal intensity curve (TIC), diffusion-weighted imaging (DWI) rim sign, apparent diffusion coefficient (ADC) value, nipple invasion, skin thickening or retraction. Each lesion was scored according to the Kaiser score flow chart. The *t* test and χ^2 test were used for univariate analysis to screen predictive variables, and multivariate logistic regression was used to construct the prediction model and draw the nomogram. Area under the receiver operating characteristic curve (AUC) were used to compare the diagnostic efficacy of Kaiser⁺ model and Kaiser score. Calibration curves were plotted to assess the calibration of the model. Decision curve analysis (DCA) was used to evaluate the clinical validity of the model. **Results:** A total of 347 patients were included in this study, with 347 lesions in total, among which 217 were malignant and 130 were benign. Univariate analysis showed that age, menopausal status, nipple invasion, skin thickening or retraction, microcalcification, lesion type (mass or non-mass), shape, AVS, DWI edge sign, and ADC value were effective predictors other than those used in Kaiser score. In the training set, the AUCs of Kaiser⁺ model and Kaiser score were 0.962 and 0.914, with statistically significant differences ($Z=3.363, P<0.01$). In the validation set, the AUCs of Kaiser⁺ model and Kaiser score were 0.976 and 0.913, with statistically significant differences ($Z=2.862, P<0.01$). The calibration curve showed that the Kaiser⁺ model was well calibrated. DCA indicated that the Kaiser⁺ model had high clinical application value. **Conclusion:** The Kaiser⁺ model designed in this study can be used to predict and diagnose the nature of breast lesions before operation, and its diagnostic performance is better than the classical Kaiser score.

[**Key words**] Breast cancer; Benign breast lesion; Magnetic resonance imaging; Kaiser score; Prediction model; Nomogram

世界卫生组织国际癌症研究机构发布的全球最新癌症负担数据显示, 2020年乳腺癌发病率已超过肺癌, 成为发病率最高的恶性肿瘤^[1]。中国女性乳腺癌的发病率和疾病负担迅速增加, 其增幅已经超过英国、美国等欧美国家^[2]。乳腺癌的早期诊断和规范化治疗显得尤为重要。乳腺X线摄影是常用的乳腺影像学检查方法, 尤其擅长对微钙化的检测。乳腺磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 检查则凭借极高的软组织分辨率, 结合动态增强MRI (dynamic enhanced-MRI, DCE-MRI)、弥散加权成像 (diffusion-weighted imaging, DWI) 等序列以及相关定量参数 [如表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 等], 成为诊断乳腺病变的灵敏手段。乳腺X线摄影和MRI两者联合应用能对乳腺病变进行精确评估, 显著提高乳腺癌的早期检出率及诊断准确度^[3-6]。

美国放射学会发布的乳腺影像报告和数据系统 (Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS) 为乳腺影像学表现的描述以及病变等

级评定确立了统一的标准框架。然而, 其未能涵盖基于病变综合影像学特征来辅助临床决策的细化策略。为弥补这一不足, Baltzer等^[7]于2013年创新性地提出了一种结合机器学习算法的决策树模型——Kaiser评分系统, 它基于5个独立的诊断指标, 即毛刺征、时间-信号强度曲线 (time-signal intensity curve, TIC) 类型、病变边缘、内部强化模式及瘤周水肿, 每个评分步骤中根据病灶影像学特征赋予分值, 最终得出1个总分值来判断病灶性质, 通过这种标准化流程的量化分析, 能使乳腺病灶的评估更为客观和准确。然而, Kaiser评分只采用了乳腺MRI的少部分影像学特征, 事实上其余的乳腺MRI、乳腺X线摄影影像学特征以及临床因素对于乳腺病变的诊断亦具有重要价值。因此, 本研究将Kaiser评分联合更丰富的影像学特征及临床因素, 构建一个优化的多参数Kaiser⁺模型, 以期在术前提高对乳腺病变的诊断效能, 为临床医师提供更为精准的诊断依据, 早期诊断乳腺癌, 减少对良性病变行不必要的活检, 从而优化诊疗决策过程。

1 资料和方法

1.1 临床资料

回顾并分析2020年9月—2023年11月于昆明医科大学第一附属医院接受诊治的乳腺疾病患者的临床及影像学资料。纳入标准：①同时期（术前2周内）行乳腺X线摄影和MRI检查，图像清晰；②病灶经术后病理学检查或穿刺活检证实，病理学报告完整；③患者行影像学检查前未行新辅助治疗。排除标准：①临床资料不完整；②影像学资料不完整或图像质量不达标；③影像学检查前已进行相关治疗。本研究经昆明医科大学第一附属医院医学伦理委员会批准，免除受试者知情同意。

1.2 乳腺影像学检查

乳腺X线摄影：采用德国Siemens公司的MAMMOMAT Inspiration乳腺X线摄影机，自动曝光模式，行双乳头尾位和内外侧斜位摄片。

乳腺MRI检查：采用荷兰Philips公司Achieva 3.0 T超导磁共振扫描仪及EWS后处理工作站。采用乳腺专用线圈，患者取俯卧位头先进，身体及双肩放平，乳房自然悬垂于线圈内，行双乳横断位T1加权成像（T1-weighted imaging, T1WI）、T2加权成像（T2-weighted imaging, T1WI）脂肪抑制及DWI和DCE-MRI扫描。扫描参数：T1WI, TR 400 ms, TE 10 ms; T2WI, TR 5 000 ms, TE 60 ms; DWI, TR 3 300 ms, TE 71 ms, b 值分别取0、1 000 s/mm^2 ；层厚4 mm，层间距1 mm；视野（field of view, FOV）为350 mm×350 mm；DCE-MRI, TR 4.1 ms, TE 1.2 ms, 层厚1 mm, 无间隔, FOV为350 mm×350 mm。于注药前扫描1期蒙片，注药后12 s开始连续无间隔扫描5期，每个期相扫描时间为120 s。经肘静脉高压注入对比剂Gd-DTPA（钆喷酸葡胺，马根维显，德国Bayer公司），剂量0.2 mmol/kg，注射流率0.2 mL/s，注射完毕追加推注15 mL生理盐水。

1.3 图像分析

由2名主要从事乳腺影像诊断的主治医师在不知晓病理学检查结果的情况下独立分析图像，意见不一致时与另1名主要从事乳腺影像诊断的副主任医师协商达成一致。评估以下参数：乳腺X线影像参数，纤维腺体类型、微钙化；乳腺MRI影像参数，背景实质强化、病灶类型（肿块/非肿块）、形状、边缘、瘤周水肿、病灶内部强化模式、肿瘤周围血管征、TIC类型、DWI边缘征、ADC、乳头凹陷、皮肤增厚或回缩。其中，肿瘤周围血管征阳性定义为肿瘤附近存在1条或多条异常血管，该血管进入病灶或与病灶边缘接触。DWI边缘征阳性定义为病灶边缘DWI呈高信号。ADC测量方法：基于DWI图像，在ADC图上根据病变的最大层面选取感兴趣区并进行勾画，注意规避坏死、囊变、出血区，重复测量两次，最终结果取平均值，对于肿块型病灶， $\text{ADC} \leq 1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 记为减低、 $> 1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 记为未见减低，对于非肿块型病灶， $\text{ADC} \leq 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 记为减低、 $> 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 记为未见减低^[8]。根据Kaiser评分流程图（图1）分别为每个病灶进行赋分。从病历系统提取相关临床资料（患者年龄、初潮年龄、绝经情况、乳腺癌家族史、体重指数）及病理学检查结果。

1.4 统计学处理

采用统计学软件SPSS 27.0及R 4.3.2进行结果分析。定性资料以 n (%)表示，计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示； χ^2 检验用于比较定性资料的组间差异， t 检验用于比较计量资料的组间差异。采用多因素logistic回归构建预测模型，绘制列线图。使用受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线的曲线下面积（area under curve, AUC）对Kaiser⁺模型和Kaiser评分在训练集及验证集中的诊断效能进行评估。采用DeLong检验比较Kaiser⁺模型和Kaiser评分的诊断性能。采用校准曲线评估模型的校准能力。采用决策曲线评价模型在临床决策中的效用。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

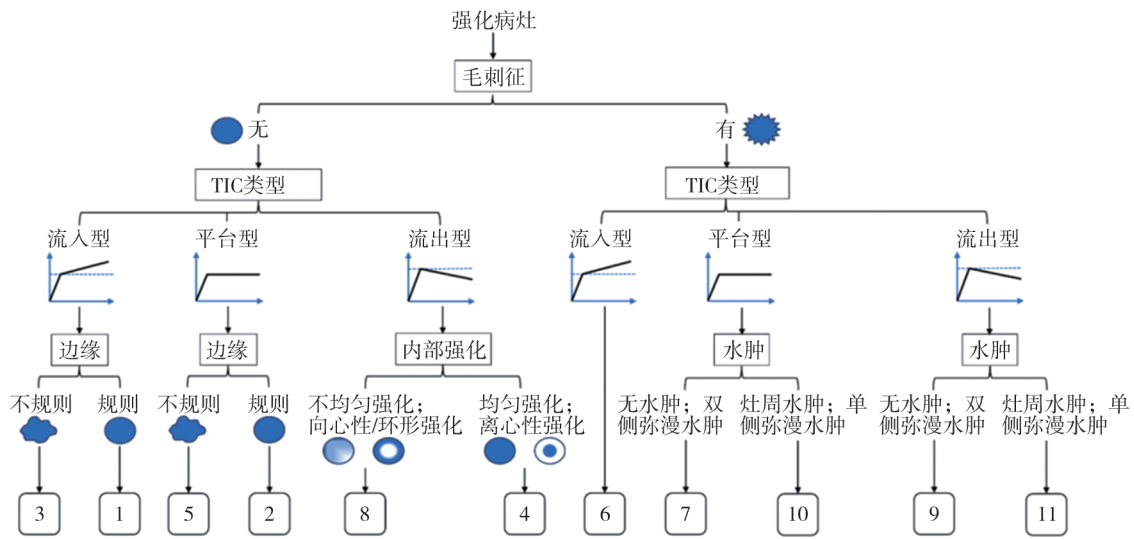


图1 Kaiser 评分流程图

Fig.1 Flow chart of Kaiser score

2 结果

2.1 临床资料比较

最终纳入 347 例患者，共 347 个病灶，其中恶性 217 个，良性 130 个。患者均为女性，年龄 (49.6±10.3) 岁。按照 7 : 3 的比例随机分成训练集和验证集 (图 2)。训练集共入组 243 个病灶，其中良性 91 个，恶性 152 个；验证集共入组 104 个病灶，其中良性 39 个，恶性 65 个。相关影像及临床参数总体情况见表 1、2，诊断参数在训练集及验证集中的分布情况见表 3。

2.2 预测变量筛选结果

训练集中，除去 Kaiser 评分的征象：毛刺、边缘、TIC 类型、内部强化模式和瘤周水肿。经单因素分析筛选出差异有统计学意义 ($P < 0.05$) 的变量 10 个：年龄、绝经情况、乳头凹陷、皮肤回缩/增厚、微钙化、病灶类型、形状、周围血管征、DWI 边缘征、ADC 值 (表 1)。

2.3 Kaiser⁺模型的构建与验证

在 Kaiser 评分 5 个独立指标的基础上，采用多因素 logistic 回归的方法纳入新诊断参数 (包括年龄、绝经情况、乳头凹陷、皮肤回缩/增厚、

微钙化、病灶类型、病灶形状、周围血管征、DWI 边缘征、ADC 值)，以此构建基于 Kaiser 评分的临床-影像多参数 Kaiser 诊断预测优化模型 (简称 “Kaiser⁺模型”)，在验证集中进行验证，并以列线图的形式呈现 (图 3)，绘制 Kaiser⁺模型和 Kaiser 评分的 ROC 曲线 (图 4)。Kaiser⁺模型在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.962 (95% CI 0.941~0.984) 和 0.976 (95% CI 0.954~0.999)，而 Kaiser 评分在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.914 (95% CI 0.877~0.950) 和 0.913 (95% CI 0.858~0.968)，DeLong 检验训练集 ($Z = 3.363$, $P < 0.01$) 和验证集 ($Z = 2.862$, $P < 0.01$) 中 Kaiser⁺模型和 Kaiser 评分的 AUC 差异均有统计学意义 ($P < 0.01$)。在训练集中，选择与最大约登指数截止点对应截断值 0.56 作为乳腺癌诊断的预测阈值，结果表明训练集中预测模型的灵敏度为 90.8%，特异度为 89.0%。将训练集的诊断预测阈值应用于验证集，结果显示该模型灵敏度为 90.8%，特异度为 87.2%。校准曲线 (图 4) 显示 Kaiser⁺模型的预测值与实际结果具有良好的一致性。DCA 显示 (图 6)，Kaiser⁺模型预测乳腺癌的净获益区间较大，有助于临床决策。典型病例图像见图 7。

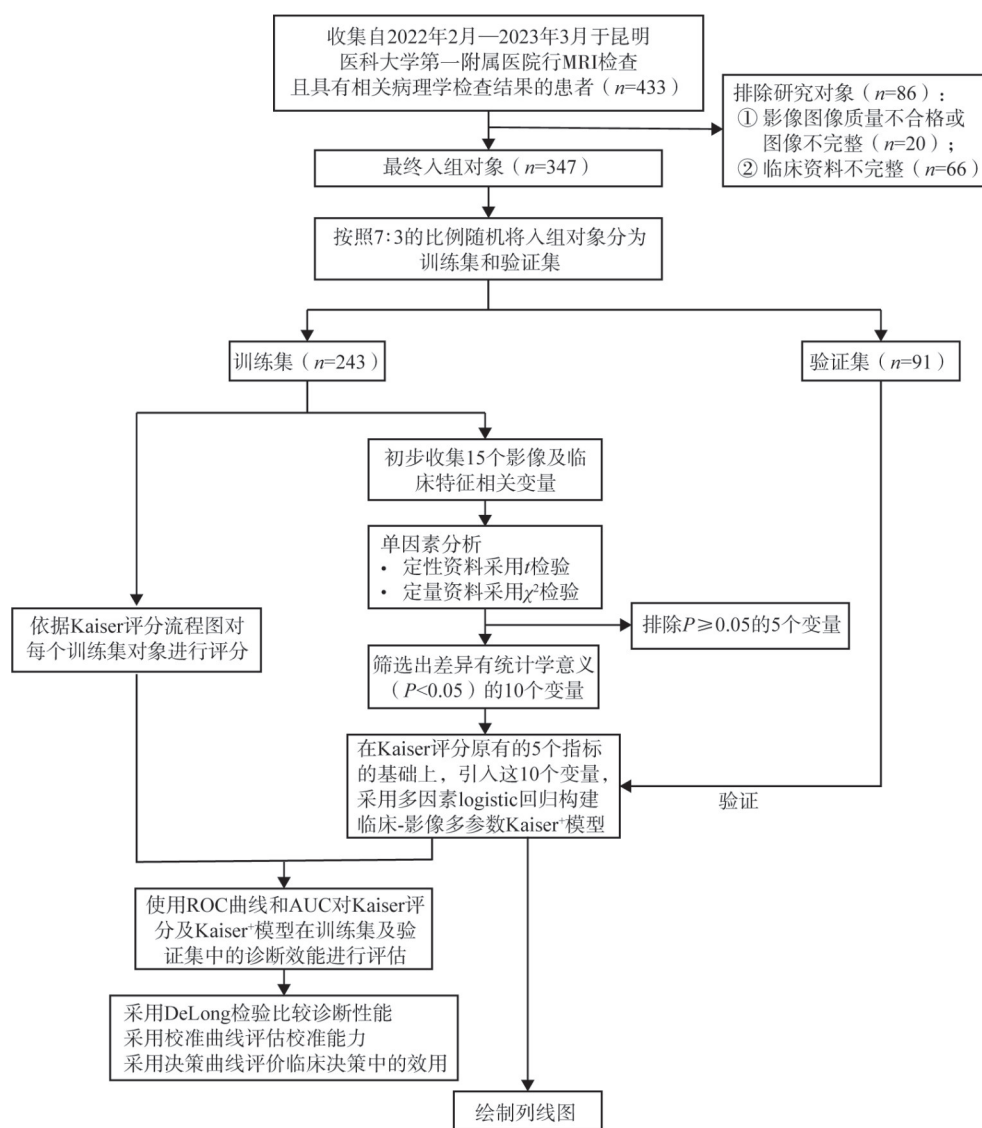


图2 研究设计流程图

Fig.2 Research design flow chart

表1 训练集基线指标分布情况

Tab.1 Distribution of baseline indicators in the training set

参数	病灶		t/χ^2 值	P 值
	良性 (n=91)	恶性 (n=152)		
纤维腺体类型			6.618	0.085
脂肪型	2 (2.20)	4 (2.63)		
散在纤维腺体型	31 (34.07)	76 (50.00)		
不均匀致密型	44 (48.35)	58 (38.16)		
致密型	14 (15.38)	14 (9.21)		
乳头凹陷			10.484	0.001
是	1 (1.10)	20 (13.16)		
否	90 (98.90)	132 (86.84)		

续表

参数	病灶		t/χ^2 值	P值
	良性 (n=91)	恶性 (n=152)		
皮肤回缩/增厚			22.203	<0.001
是	6 (6.59)	50 (32.89)		
否	85 (93.41)	102 (67.11)		
微钙化			16.805	<0.001
是	24 (26.37)	81 (53.29)		
否	67 (73.63)	71 (46.71)		
病灶类型			15.415	<0.001
肿块型	69 (75.82)	142 (93.42)		
非肿块型	22 (24.18)	10 (6.58)		
形状			14.243	<0.001
圆形	4 (4.40)	7 (4.61)		
卵圆形	18 (19.78)	7 (4.61)		
不规则形	69 (75.82)	138 (90.79)		
背景实质强化			2.496	0.476
无或极少	26 (28.57)	45 (29.60)		
轻度	47 (51.65)	80 (52.63)		
中度	17 (18.68)	21 (13.82)		
重度	1 (1.10)	6 (3.95)		
周围血管征			16.431	<0.001
有	21 (23.08)	75 (49.34)		
无	70 (76.92)	77 (50.66)		
DWI边缘征			25.626	<0.001
有	6 (6.59)	54 (35.53)		
无	85 (93.41)	98 (64.47)		
ADC值			73.482	<0.001
肿块型 $\leq 1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; 非肿块型 $\leq 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	35 (38.46)	137 (90.13)		
肿块型 $> 1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; 非肿块型 $> 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	56 (61.54)	15 (9.87)		
患病年龄/岁	45.79 \pm 9.68	52.26 \pm 9.91	4.971	<0.001
初潮年龄/岁	13.22 \pm 1.60	13.40 \pm 1.61	0.843	0.400
体重指数/ (kg·cm ⁻²)	22.67 \pm 2.74	23.11 \pm 3.19	1.063	0.289
绝经情况			16.972	<0.001
是	25 (27.47)	83 (54.61)		
否	66 (72.52)	69 (45.39)		
家族史			0.091	0.763
是	4 (4.40)	8 (5.26)		
否	87 (95.60)	144 (94.74)		
Kaiser评分	3.81 \pm 2.328	8.50 \pm 2.097	16.175	<0.001

表2 验证集基线指标分布情况

Tab.2 Distribution of baseline indicators in the validation set

参数	病灶		t/χ^2 值	P值
	良性 (n=39)	恶性 (n=65)		
乳头凹陷			4.443	0.035
是	4 (10.26)	18 (27.69)		
否	35 (89.74)	47 (72.31)		

n(%)或 $\bar{x}\pm s$

续表

参数	病灶		t/χ^2 值	P值
	良性 (n=39)	恶性 (n=65)		
皮肤回缩/增厚			11.324	<0.001
是	2 (5.13)	22 (33.85)		
否	37 (94.87)	43 (66.15)		
微钙化			13.096	<0.001
是	5 (12.82)	31 (47.69)		
否	34 (87.18)	34 (52.31)		
病灶类型			11.345	<0.001
肿块型	27 (69.23)	61 (93.85)		
非肿块型	12 (30.77)	4 (6.15)		
形状			10.757	0.005
圆形	0 (0)	1 (1.54)		
卵圆形	9 (23.08)	2 (3.08)		
不规则形	30 (76.92)	62 (95.38)		
周围血管征			11.093	<0.001
有	7 (17.95)	33 (50.77)		
无	32 (82.05)	32 (49.23)		
DWI边缘征			6.050	0.014
有	3 (7.69)	18 (27.69)		
无	36 (92.31)	47 (72.31)		
ADC值			23.371	<0.001
肿块型 $<1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; 非肿块型 $\leq 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	16 (41.03)	57 (87.69)		
肿块型 $>1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; 非肿块型 $>1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	23 (58.97)	8 (12.31)		
患病年龄/岁	47.46 \pm 10.07	50.05 \pm 10.50	1.234	0.220
绝经情况			1.652	0.199
是	13 (33.33)	30 (46.15)		
否	26 (66.67)	35 (53.85)		
Kaiser评分	3.67 \pm 2.069	8.66 \pm 2.606	10.191	<0.001

表3 训练集及验证集中诊断参数分布情况

Tab.3 Distribution of diagnostic parameters in training set and validation set

参数	训练集 (n=243)	验证集 (n=104)	t/χ^2 值	n (%) 或 $\bar{x} \pm s$
				P值
患病年龄/岁	49.84 \pm 10.293	49.08 \pm 10.365	0.631	0.529
绝经情况			0.284	0.594
是	108 (44.44)	43 (41.35)		
否	135 (55.56)	61 (58.65)		
乳头凹陷			10.502	0.001
是	21 (8.64)	22 (21.15)		
否	222 (91.36)	82 (78.85)		
皮肤回缩/增厚			0.000	0.995
是	56 (23.05)	24 (23.08)		
否	187 (76.95)	80 (76.92)		
微钙化			2.230	0.135
是	105 (43.21)	36 (34.62)		
否	138 (56.79)	68 (65.38)		

续表

参数	训练集 (n=243)	验证集 (n=104)	t/ χ^2 值	P值
病灶类型			0.300	0.584
肿块型	211 (86.83)	88 (84.62)		
非肿块型	32 (13.17)	16 (15.38)		
形状			2.773	0.250
圆形	11 (4.53)	1 (0.96)		
卵圆形	25 (10.29)	11 (10.58)		
不规则形	207 (85.18)	92 (88.46)		
周围血管征			0.033	0.855
有	96 (39.51)	40 (38.46)		
无	147 (60.49)	64 (61.54)		
DWI边缘征			0.824	0.364
有	60 (24.69)	21 (20.19)		
无	183 (75.31)	83 (79.81)		
ADC值			0.012	0.912
肿块型 $\leq 1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; 非肿块型 $\leq 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	172 (70.78)	73 (70.19)		
肿块型 $> 1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; 非肿块型 $> 1.35 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$	71 (29.22)	31 (29.81)		
Kaiser评分	6.71 \pm 3.148	6.79 \pm 3.421	0.202	0.840
病理学检查结果			0.000	0.993
良性	91 (37.45)	39 (37.50)		
恶性	152 (62.55)	65 (62.50)		

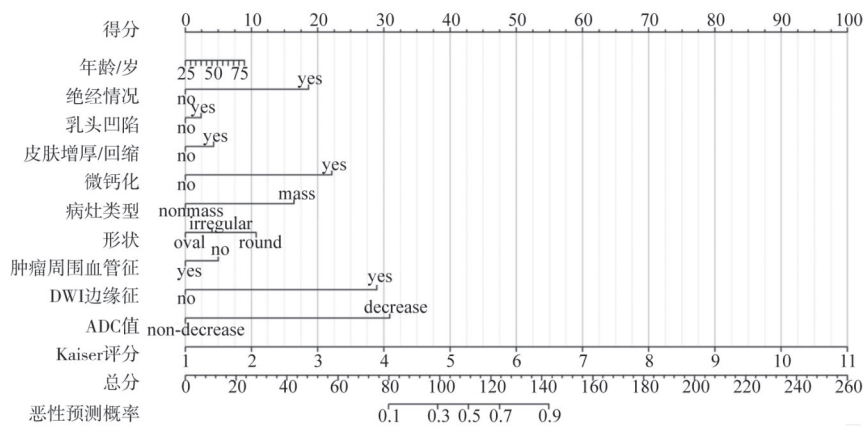


图3 基于Kaiser评分的多参数Kaiser⁺乳腺癌诊断预测模型列线图

Fig.3 Nomogram of multiparameter Kaiser⁺ breast cancer diagnosis prediction model based on Kaiser score

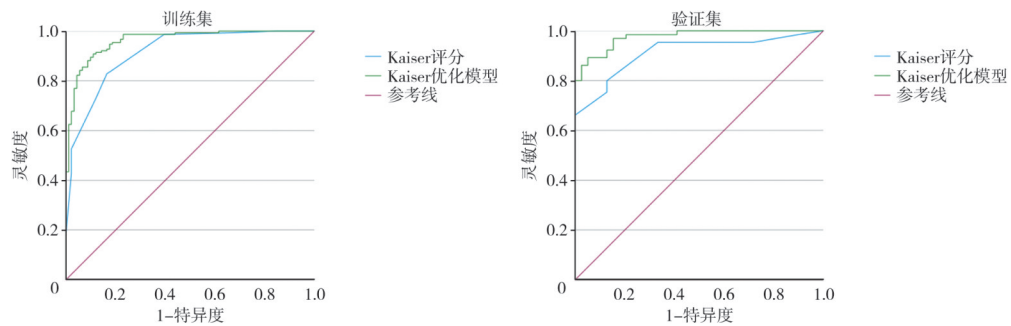


图4 训练集和验证集中Kaiser⁺模型和Kaiser评分的ROC曲线

Fig.4 ROC curves of Kaiser⁺ model and Kaiser score in the training and validation sets

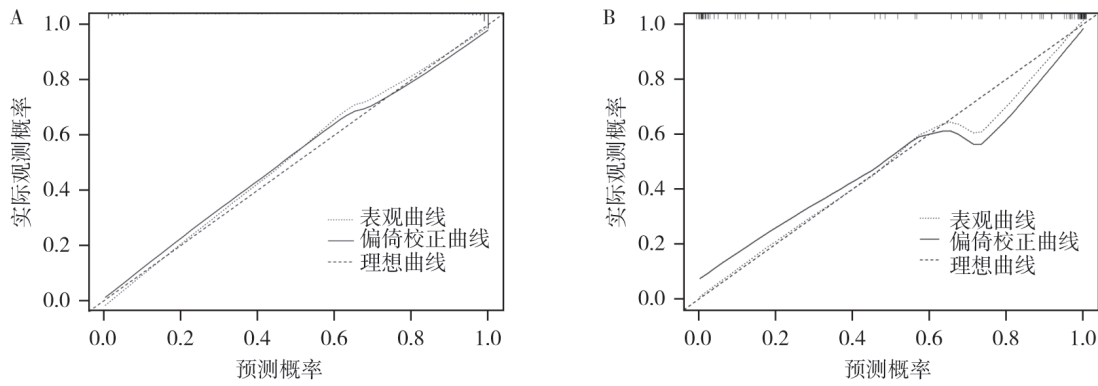


图5 训练集 (A) 和验证集 (B) 中Kaiser⁺模型的校准曲线

Fig.5 Calibration curves of the Kaiser⁺ model in the training (A) and validation (B) sets

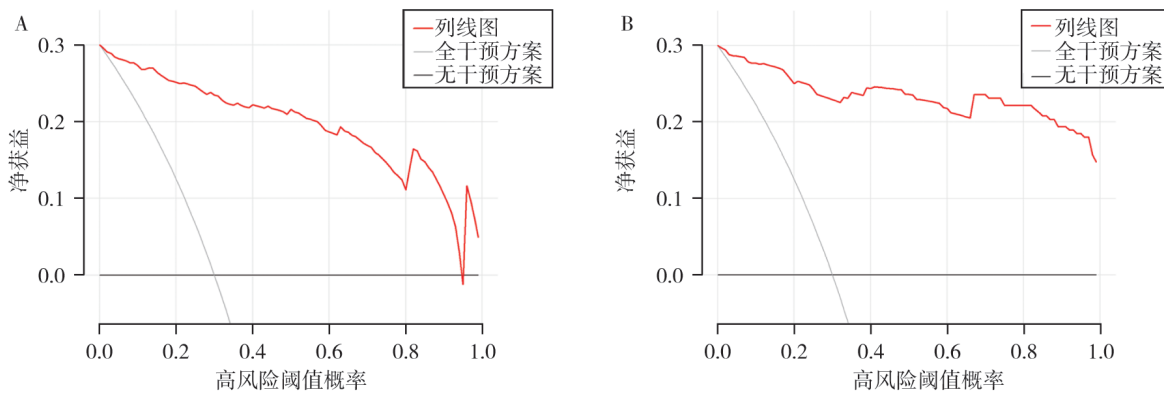


图6 训练集 (A) 和验证集 (B) 中Kaiser⁺模型DCA曲线

Fig.6 DCA curves of Kaiser⁺ model in the training (A) and validation (B) sets

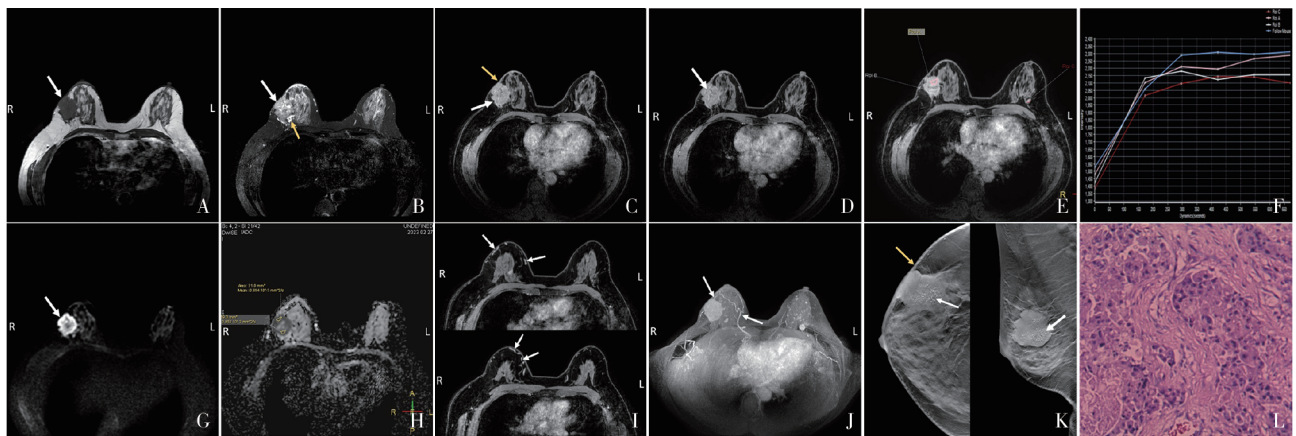


图7 典型病例MRI图像及病理学图像

Fig.7 Typical case MRI and pathology images

患者, 女性, 59岁, 已绝经, 发现右乳肿块3年余。A: 轴位T1WI示病灶为低信号(白色箭头所示); B: 轴位T2WI示病灶为混杂高信号(白色箭头所示), 周围高信号水肿区(黄色箭头所示); C、D: 增强扫描示病灶类型为肿块, 边缘不规则(C白色箭头所示), 邻近皮肤牵拉回缩(C黄色箭头所示), 病灶内部不均匀强化(D白色箭头所示); E、F: TIC呈平台型; G: DWI图示病灶边缘高信号环, 即DWI边缘征(白色箭头所示); H: ADC图示病灶区域ADC值减低, 约为 $0.884 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; I: 增强扫描可见病灶周围有增粗迂曲的血管, 即肿瘤周围血管征(白色箭头所示); J: MIP图示病灶周围清晰的血管影像(白色箭头所示); K: 乳腺X线摄影头尾位及内外侧斜位示病灶内多发细小钙化(白色箭头所示), 邻近皮肤稍牵拉回缩(黄色箭头所示); L: 右乳肿块病理HE染色 20×10 倍, 术后病理学检查证实为浸润性导管癌II级。该患者Kaiser评分为5分, 良恶性难以直接判断。由Kaiser⁺优化模型列线图得出该病灶的评分为170.5分, 恶性概率 > 0.9 , 与病理学诊断符合。

3 讨 论

Kaiser评分是一种决策树式的分类算法，提供一个直观的流程图表来评估病灶恶性风险评分，以指导临床决策。Kaiser评分基于病灶形态学及血流动力学特征的标准化赋分提高诊断准确度^[9-10]。但是，Kaiser评分纳入的影像学特征较少，仅为DCE-MRI特征，未充分利用T2WI、DWI、ADC等序列以及乳腺X线摄影检查中很多有价值的影像学特征，并且未考虑患者的临床因素。

年龄作为乳腺癌的影响因素已被多项研究证实，一项全球女性乳腺癌发病趋势及年龄变化研究^[11]显示，乳腺癌在25岁以下人群中少见，在≥25岁人群中，整体发病率随年龄增加呈上升趋势，45~64岁为发病高峰段，之后随着年龄增加又逐渐降低。研究^[12]发现，与年龄相关的某些DNA位点在包括乳腺癌在内的肿瘤中存在差异甲基化，这些DNA位点甲基化可能参与致癌过程，基于DNA甲基化的生物年龄测量可能是乳腺癌风险的重要预测指标。绝经情况与年龄密切相关，绝经后体内激素水平变化会增加乳腺癌发病率^[13]。因此，将年龄和绝经情况纳入Kaiser⁺模型是有意义的。

乳头凹陷和皮肤增厚/回缩是乳腺癌累及乳头和皮肤时的表现，良性病变侵袭能力弱，这两种表现少见。乳腺X线摄影在观察钙化方面具有独特优势，钙化的形态及类型对于诊断乳腺疾病具有重要价值^[14]。在Mordang等^[15]研究中，乳腺X线摄影对恶性微钙化检出的灵敏度为45.5%，特异度为99.5%，68.4%的微钙化与浸润性癌相关。研究^[16-17]证实，微钙化与乳腺癌密切相关，对乳腺癌的早期诊断具有重要意义。将乳头凹陷和皮肤增厚/回缩、微钙化纳入Kaiser⁺模型，有助于提高诊断效能。

肿瘤周围血管征、病灶类型（肿块/非肿块）及形状是DCE-MRI的重要影像学征象。由于乳腺癌促进新生血管形成、恶性肿瘤代谢增高等因素，病灶周围及同侧乳腺整体血运增加，瘤周常

出现异常血管。Çetinkaya等^[18]的研究发现，肿瘤周围血管征与腋窝淋巴结转移、瘤周水肿、T2低信号、早期快速增强、增强不均匀强化、病灶形态不规则、肿瘤体积较大等有关。Kul等^[19]的研究指出，同侧血管增加及肿瘤周围血管征与同侧乳腺癌存在显著关联，可以作为诊断乳腺癌的附加征象。相较于Kaiser评分，病灶类型（肿块/非肿块）与形状进一步扩充研究了病灶的形态学特征，肿瘤周围血管征反映肿瘤外部血流情况，与Kaiser评分中TIC类型及内部强化特征所反映的病灶内部血流动力学特征相呼应，对病灶的血流情况评估更为完整。

本研究还将DWI边缘征和ADC值纳入模型构建。Kang等^[20]的研究发现，乳腺病灶DWI边缘高信号与恶性肿瘤密切相关，是乳腺MRI的有效诊断信息。Choi等^[21]表明，DWI边缘征形成的病理学基础是肿瘤边缘生物活性显著增加，具有更高的细胞密度，DWI边缘征在乳腺良恶性病变中差异有统计学意义。Choi等^[22]的研究表明，DWI边缘征与乳腺癌组织学分级、肿瘤大小、肿瘤亚型及Ki-67增殖指数相关。将DWI边缘征引入Kaiser⁺模型构建，关注病灶的DWI空间特征，打破了传统研究中只关注病灶的DWI图像及ADC值的局限性。已有多项研究^[23-24]表明恶性病变的ADC值显著低于良性病变，同样，本研究单因素分析时，ADC值对于鉴别乳腺良恶性病变是有意义的，因此将其纳入Kaiser⁺模型中。近年来有研究者^[25]期望通过联合Kaiser评分和ADC值来提高诊断效能，结果表明ADC值与Kaiser评分联合时的灵敏度与单独使用相仿，但特异度有所增加。但另一些研究^[26-27]表明，ADC值联合Kaiser评分较单独使用Kaiser评分其诊断效能并没有明显提高。本研究结果与前者相似，在Kaiser⁺模型中纳入ADC值是有意义的，但与这些研究将ADC值作为连续变量纳入所不同，我们将ADC值作为二分类变量引入模型中，是考虑到实际应用中若将ADC值作为连续变量，测量值会因测量者的主观性导致偏差，而作为二分类变量，不但判断起来更加便捷且更具实用性，并且主观性所致的测量偏差对模型带来的影

响将减小。Meng等^[28]的研究也证实,将ADC值作为连续变量和二分类变量分别纳入模型,两种模型的AUC差异并无统计学意义,说明ADC作为二分类变量不会降低模型的诊断性能。

多参数模型已被证实在乳腺癌的诊断中具有重要价值。Sun等^[29]建立联合DCE-MRI、DWI和合成MRI鉴别诊断BI-RADS 4类病变的模型,诊断效能得以提高。Zhang等^[30]的研究结合DCE-MRI和DWI的定量和定性变量,结果显示多参数MRI模型用于乳腺癌诊断具有较高准确度。Meng等^[28]根据患者年龄、毛刺征、TIC、内部不均匀强化、瘤周水肿、ADC值构建两种乳腺癌诊断预测模型,结果显示两种模型与Kaiser评分诊断灵敏度相当,但特异度均优于Kaiser评分。

本研究的特点在于Kaiser⁺模型纳入了Kaiser评分未关注到的临床因素及影像学特征,例如年龄、绝经与否、乳头凹陷和皮肤增厚/回缩、微钙化、DWI边缘征等,极大地扩充了模型所包含的诊断要素。另一方面,这些要素都是临床工作中容易获取的,使得Kaiser⁺模型具有良好的临床实用性及基层推广价值。

本研究存在一定的局限性。首先,本研究是一项回顾性研究,可能存在回忆偏倚和选择偏倚,希望在后续的研究中进行前瞻性测试。此外,本研究为单中心研究,虽进行了内部验证,但没有建立外部数据库进一步验证,不能避免选择性偏倚。另外,本研究只采用logistic回归构建模型,未来通过机器学习算法有望进一步提高模型性能。最后,本研究的Kaiser⁺模型最终是以列线图的形式呈现,有助于对非典型影像学表现的乳腺病变进行诊断和鉴别诊断,但步骤相对繁琐,在临床诊断工作中可能缺乏便捷性,期望在未来的研究中设计出更为简便的流程图,以提高临床适用性。

综上所述,本研究提出的多参数Kaiser⁺模型较Kaiser评分能够有效地提高诊断效能,展示出

良好的校准能力和临床净获益。

第一作者:

付凡欣(ROCID: 0009-0002-1258-2274), 硕士研究生。

通信作者:

李俊(ROCID: 0000-0002-6029-6451), 硕士, 副主任医师, E-mail: 644814243@qq.com。

作者贡献声明:

付凡欣: 实施研究、采集及分析数据、统计分析、文章撰写; 卢艳会、王婉婷: 采集数据、分析数据; 高超、韩智泉: 实施研究、采集数据; 罗春燕: 采集数据、研究指导; 李俊: 酝酿及设计实验、研究指导、论文审阅、获取研究经费。

[参 考 文 献]

- [1] LEI S Y, ZHENG R S, ZHANG S W, et al. Global patterns of breast cancer incidence and mortality: a population-based cancer registry data analysis from 2000 to 2020 [J]. *Cancer Commun*, 2021, 41(11): 1183-1194.
- [2] QIU H B, CAO S M, XU R H. Cancer incidence, mortality, and burden in China: a time-trend analysis and comparison with the United States and United Kingdom based on the global epidemiological data released in 2020 [J]. *Cancer Commun*, 2021, 41(10): 1037-1048.
- [3] MANN R M, CHO N, MOY L. Breast MRI: state of the art [J]. *Radiology*, 2019, 292(3): 520-536.
- [4] SUMKIN J H, BERG W A, CARTER G J, et al. Diagnostic performance of MRI, molecular breast imaging, and contrast-enhanced mammography in women with newly diagnosed breast cancer [J]. *Radiology*, 2019, 293(3): 531-540.
- [5] II MA M, HONDA M, SIGMUND E E, et al. Diffusion MRI of the breast: current status and future directions [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(1): 70-90.
- [6] LO GULLO R, SEVILIMEDU V, BALTZER P, et al. A survey by the European Society of Breast Imaging on the implementation of breast diffusion-weighted imaging in clinical practice [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(10): 6588-6597.
- [7] BALTZER P A T, DIETZEL M, KAISER W A. A simple and robust classification tree for differentiation between benign and malignant lesions in MR-mammography [J]. *Eur Radiol*, 2013, 23(8): 2051-2060.
- [8] 李 桢, 李梦露, 程流泉. DCE-TIC曲线与DWI-ADC值联合应用对乳腺良、恶性病变的鉴别诊断价值 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2019, 27(9): 654-658.
- [9] LI Z, LI M L, CHENG L Q. DCE-TIC combined with DWI-ADC in the differential diagnosis of benign and malignant breast lesions [J]. *Chin J Med Imag*, 2019, 27(9): 654-658.
- [9] MILOS R I, PIPAN F, KALOVIDOURI A, et al. The Kaiser score reliably excludes malignancy in benign contrast-enhancing lesions classified as BI-RADS 4 on breast MRI high-risk screening exams [J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(11): 6052-6061.
- [10] JAJODIA A, SINDHWANI G, PASRICHA S, et al. Application of the Kaiser score to increase diagnostic accuracy in equivocal

- lesions on diagnostic mammograms referred for MR mammography[J]. *Eur J Radiol*, 2021, 134: 109413.
- [11] 梁 铎, 杨 剑, 高 婷, 等. 全球女性乳腺癌发病趋势及年龄变化情况[J]. *中华肿瘤杂志*, 2023, 45(4): 313-321.
LIANG X, YANG J, GAO T, et al. Analysis on the trends of incidence and age change for global female breast cancer [J]. *Chin J Oncol*, 2023, 45(4): 313-321.
- [12] KRESOVICH J K, XU Z L, O'BRIEN K M, et al. Methylation-based biological age and breast cancer risk [J]. *J Natl Cancer Inst*, 2019, 111(10): 1051-1058.
- [13] DUNNERAM Y, GREENWOOD D C, CADE J E. Diet, menopause and the risk of ovarian, endometrial and breast cancer [J]. *Proc Nutr Soc*, 2019, 78(3): 438-448.
- [14] 张 吉, 刘红胜. 乳腺可疑钙化与乳腺癌临床病理因素的关系[J]. *中国医师杂志*, 2021, 23(12): 1878-1880.
ZHANG J, LIU H S. Relationship between suspected calcification of breast and clinicopathological factors of breast cancer[J]. *J Chin Physician*, 2021, 23(12): 1878-1880.
- [15] MORDANG J J, GUBERN-MÉRIDA A, BRIA A, et al. The importance of early detection of calcifications associated with breast cancer in screening [J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2018, 167(2): 451-458.
- [16] VENKATESAN A, CHU P, KERLIKOWSKA K, et al. Positive predictive value of specific mammographic findings according to reader and patient variables [J]. *Radiology*, 2009, 250(3): 648-657.
- [17] HORVAT J V, KEATING D M, RODRIGUES-DUARTE H, et al. Calcifications at digital breast tomosynthesis: imaging features and biopsy techniques [J]. *Radiographics*, 2019, 39(2): 307-318.
- [18] ÇETINKAYA E, YILDIZ Ş, OTÇU H, et al. The value of adjacent vessel sign in malignant breast tumors [J]. *Diagn Interv Radiol*, 2022, 28(5): 463-469.
- [19] KUL S, CANSU A, ALHAN E, et al. Contrast-enhanced MR angiography of the breast: evaluation of ipsilateral increased vascularity and adjacent vessel sign in the characterization of breast lesions [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 195(5): 1250-1254.
- [20] KANG B J, LIPSON J A, PLANEY K R, et al. Rim sign in breast lesions on diffusion-weighted magnetic resonance imaging: Diagnostic accuracy and clinical usefulness [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2015, 41(3): 616-623.
- [21] CHOI Y, KIM S H, YOUN I K, et al. Rim sign and histogram analysis of apparent diffusion coefficient values on diffusion-weighted MRI in triple-negative breast cancer: comparison with ER-positive subtype [J]. *PLoS One*, 2017, 12(5): e0177903.
- [22] CHOI B B. Dynamic contrast enhanced-MRI and diffusion-weighted image as predictors of lymphovascular invasion in node-negative invasive breast cancer [J]. *World J Surg Oncol*, 2021, 19(1): 76.
- [23] BICKEL H, PINKER K, POLANEC S, et al. Diffusion-weighted imaging of breast lesions: region-of-interest placement and different ADC parameters influence apparent diffusion coefficient values [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(5): 1883-1892.
- [24] SUROV A, MEYER H J, WIENKE A. Can apparent diffusion coefficient (ADC) distinguish breast cancer from benign breast findings? A meta-analysis based on 13 847 lesions [J]. *BMC Cancer*, 2019, 19(1): 955.
- [25] CHEN Z W, ZHAO Y F, LIU H R, et al. Assessment of breast lesions by the Kaiser score for differential diagnosis on MRI: the added value of ADC and machine learning modeling [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(10): 6608-6618.
- [26] 任晓梦, 刘晓春, 代天姿, 等. Kaiser评分与ADC值对乳腺BI-RADS 4类病变的诊断效能评价[J]. *磁共振成像*, 2022, 13(9): 25-29.
REN X M, LIU X C, DAI T Z, et al. Comparative assessment of MRI BI-RADS 4 breast lesions with Kaiser score and apparent diffusion coefficient value [J]. *Chin J Magn Reson Imag*, 2022, 13(9): 25-29.
- [27] AN Y Y, MAO G Q, AO W Q, et al. Can DWI provide additional value to Kaiser score in evaluation of breast lesions [J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(9): 5964-5973.
- [28] MENG L S, ZHAO X, GUO J X, et al. Improved differential diagnosis based on BI-RADS descriptors and apparent diffusion coefficient for breast lesions: a multiparametric MRI analysis as compared to Kaiser score [J]. *Acad Radiol*, 2023, 30(Suppl 2): S93-S103.
- [29] SUN S Y, DING Y, Z L, et al. Multiparameter MRI model with DCE-MRI, DWI, and synthetic MRI improves the Diagnostic Performance of BI-RADS 4 Lesions [J]. *Front Oncol*, 2021. Doi: 10.3389/fonc.2021.699127.
- [30] ZHANG M, HORVAT J V, BERNARD-DAVILA B, et al. Multiparametric MRI model with dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted imaging enables breast cancer diagnosis with high accuracy [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 49(3): 864-874.

(收稿日期: 2025-04-14 修回日期: 2025-06-28)