论著

## 增强CT影像组学在鉴 别TI-RADS 4A、4B类 甲状腺微小结节良恶性 的价值\*

陈 鹏 张成孟 周艳艳 丁治民\* 皖南医学院弋矶山医院放射科

(安徽 芜湖 241000)

【摘要】目的 探讨基于增强计算机断层扫描 (computed tomography, CT)影像组学在鉴别超 声甲状腺成像报告和数据系统(thyroid imaging reporting and data system, TI-RADS)诊断为4A、 4B类甲状腺微小结节良恶性的价值。方法 回顾性 入组2018年1月至2022年1月经过术后病理证实甲 状腺结节患者300例(115例良性,185例恶性)。从 增强CT图像中提取影像组学特征分别构建动脉期、 静脉期、延迟期及多期联合(动脉期+静脉期+延迟 期)影像组学模型,联合诊断效能最高的影像组学 模型和临床特征构建综合诊断模型并绘制诺莫图。 使用接受者工作特征曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curve, AUC)评 估模型的诊断性能,决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评价模型的临床效用。结果 多期联 合组学模型的诊断表现(训练集AUC vs测试集AUC: 0.814 vs 0.718)优于单一期像组学模型(动脉期: 0.730 vs 0.601;静脉期: 0.794 vs 0.678;延迟期: 0.793 vs 0.622); 与临床模型(训练集AUC: 0.732;测 试集AUC: 0.766)和多期联合组学模型相比,综合诊 断模型在训练集(AUC: 0.876)和测试集(AUC: 0.813) 均具有更好的诊断表现。决策曲线分析表明,该综 合诊断模型具有更高的临床应用价值。结论 增强CT 影像组学能够在术前有效鉴别TI-RADS 4A和4B类甲 状腺微小结节的良恶性。

【关键词】计算机断层扫描;影像组学;甲状腺; 微小结节;甲状腺成像报告和数据系统 【中图分类号】R445.3 【文献标识码】A 【基金项目】安徽省卫生健康科研项目 (AHWJ2022b044) DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.07.013

# Contrast-Enhanced CT-based Radiomics for Distinguishing Benign from Malignant Thyroid Micro-nodules in TI-RADS Category 4A and 4B\*

CHEN Peng, ZHANG Cheng-meng, ZHOU Yan-yan, DING Zhi-min<sup>\*</sup>. Department of Radiology, Yijishan Hospital of Wannan Medical College, Wuhu 241000, Anhui Province, China.

#### ABSTRACT

Objective To evaluate the diagnostic value of contrast-enhanced CT-based radiomics model for distinguishing benign from malignant thyroid micro-nodules of thyroid imaging reporting and data system (TI-RADS) category 4A and 4B. *Methods* This retrospective study included 300 patients with TI-RADS 4A and 4B micro-nodules (115 benign, 185 malignant) undergoing preoperative contrast-enhanced CT and surgery from January 2018 to January 2022. We extracted radiomics features from contrast-enhanced CT images to build arterial phase, venous phase, delayed phase and multi-phase combined (arterial phase + venous phase + delayed phase) radiomics model, integrated the most effective radiomics model and the clinical features to construct the synthetic diagnostic model and draw nomogram. The model performance was determined by the area under the receiver operating characteristic curve (AUC). The clinical usefulness was assessed by decision curve analysis (DCA). Results The diagnostic performance of multi-phase combined radiomics model (training set AUC vs test set AUC : 0.814 vs 0.718) is better than that of single phase radiomics model (arterial phase : 0.730 vs 0.601 ; venous phase : 0.794 vs 0.859 ; delayed phase : 0.793 vs 0.622); compared with the clinical model (training set AUC: 0.732; test set AUC: 0.766) and multi-phase combined radiomics model, the synthetic diagnostic model had better diagnosis effects in both the training set (AUC: 0.876) and the test set (AUC: 0.813). The decision curve analysis showed that the combine model had higher clinical application value. *Conclusion* Contrast-Enhanced CT-based radiomic model had good discrimination for the preoperative prediction of the benign from malignant thyroid micro-nodules in TI-RADS category 4A and 4B.

Keywords: Computed Tomography; Radiomics; Thyroid; Micro-nodules; TI-RADS

近年来,随着检测设备的不断优化和环境中危险因素的日益增加,甲状腺结节的发 病率略有提升<sup>[1]</sup>,在成人中,有50%-60%可以观察到甲状腺结节,但只有约5%的甲状腺 结节为恶性<sup>[2-4]</sup>,在治疗前对甲状腺结节良恶性的准确识别对临床处理有重要意义<sup>[5]</sup>。甲 状腺成像报告和数据系统(thyroid imaging reporting and data system, TI-RADS)是一种 对甲状腺结节进行风险分层的系统,广泛应用于超声对甲状腺结节的风险评估,其中TI-RADS 4A、4B类结节恶性概率为2%-50%,风险跨度较大<sup>[6]</sup>,有学者指出,TI-RADS≥4B 是预测恶性肿瘤的临界点<sup>[7]</sup>,对于TI-RADS 4A、4B类微小结节(定义为直径≤1cm的甲状 腺结节),使用TI-RADS判定其风险程度的准确性有待验证<sup>[8]</sup>。甲状腺结节细针穿刺抽吸活 检(fine-needle aspiration biopsy, FNAB)是术前诊断甲状腺结节最常见的微创方法,但 对于微小结节,穿刺难度大,结果可靠性差且重复穿刺活检可能会增加出血、感染等并 发症的风险<sup>[8-9]</sup>。因此使用新的无创方法来鉴别甲状腺良恶性是非常重要的<sup>[10]</sup>。影像组学 作为一种诊断新技术,近年来已经受到广泛关注,既往研究<sup>[11-12]</sup>发现影像组学能够很好的 鉴别甲状腺结节和预测其生物学行为,但是对TI-RADS 4A、4B类甲状腺微小结节的定性 鲜有研究。本研究探讨基于增强CT影像组学预测超声TI-RADS 4A、4B类甲状腺微小结节 良恶性的价值。

### 1 资料与方法

**1.1 病例资料** 回顾性分析2018年1月至2022年1月皖南医学院第一附属医院行甲状腺结节切除病例660例。

纳入标准:术前两周于本院行超声检查并按超声TI-RADS诊断为4A、4B类结节;术前两周于本院行CT三期(动脉期、静脉期及延迟期)增强扫描;甲状腺结节直径 ≤1.0cm,患侧有多个结节的取直径最大结节;术后组织病理学类型明确;既往颈部无 放化疗等病史。排除标准:甲状腺腺体同时具有良恶性结节;患者临床基本资料或各项 检查资料不全;病理诊断结果不明确。最终纳入300例甲状腺结节患者,包括恶性结节 185例(4A类99例,4B类86例)、良性结节115例(4A类84例,4B类31例)。采用完全随机 方法将结节按7:3的比例分成训练组210例,验证组90例。

**1.2 扫描方法** 使用STMATOM/PHILIPS螺旋CT对患者行平扫+增强扫描,扫描范围为颅 底至颈根部,扫描参数:120KV球管电压,自动管电流,扫描层距及层厚均为3mm,矩阵为512×512。常规扫描后,使用高压注射器经右肘静脉注射非离子型对比剂碘克 沙醇,对比剂浓度为350mg/mL,注射速度为3.5mL/s,注射后30s、60s及180s行三期 (动脉期、静脉期及延迟期)增强扫描。

1.3 CT影像特征观察指标 由两名具有五年以上甲状腺病变诊断经验医师(医师A、医师

B)进行双盲法阅片,意见不一致时由另一名具有十五年以上诊断 经验医师(医师C)进行决定。观察记录指标包括:结节位置、结节 大小(最长径)、是否囊变、纵横比、有无钙化、边缘是否清晰、 平扫密度是否均匀、增强是否均匀强化。

1.4 图像处理、配准、感兴趣区的勾画及特征提取 从PACS系统中以DICOM格式导出病例图像,并使用Python(版本 3.10.2)将 图像转化为NRRD格式,并进行图像配准(主要算法为刚体配准和 高斯滤波)。将配准后的三期图像导入ITK-SNAP软件,进行手动 勾画(勾画静脉期病灶范围并将其作为标准范围自动覆盖动脉期和 延迟期图像)全病灶ROI并进行三维融合形成感兴趣体积(volume of interest, VOI)(图1A)。将数据导入FAE(FAE,v0.5.2,https:// github.com/salan668/FAE)软件进行特征提取。

1.5 观察者内/间组学特征提取一致性评价 为了评价操作者勾 画和特征提取的一致性和稳定性,进行组内/间相关系数(Intra-/ inter-class Correlation Coefficient, ICCs)评价。医师A将全部 对象进行ROI勾画形成数据集D1,四周后从全部对象中随机抽取 90例由医师A与医师B分别进行ROI勾画形成数据集D2与D3。将 数据集D1与数据集D3中重复对象进行观察者间一致性评价,将数 据集D1与数据集D2中重复对象进行观察者内一致性评价。认为两 次评价中ICCs>0.8的特征具有良好的可重复性及一致性。

**1.6 特征筛选及模型构建**对训练组数据使用Z-score Normalization进行数据标准化,利用皮尔逊相关系数(Pearson Correlation Coefficient, PCC)(设定PCC=0.90)及方差分析 (analysis of Variance, ANOVA)进行维数缩减(图1B)。在逻辑回 归的基础上引入最小绝对收缩和选择算子(logistic regression via least absolute shrinkage and selection operator, LR-LASSO) 进行特征筛选并构建动脉期、静脉期、延迟期及多期联合影像组 学模型;将筛选的特征值×特征权重系数并求和计算每例患者的 影像组学评分。使用多因素逻辑回归筛选临床独立危险因素建立 临床模型,联合临床独立危险因素与诊断效能最好的影像组学模 型构建综合诊断模型<sup>[13]</sup>。

1.7 统计学分析 采用SPSS 26.0软件和 R软件(版本4.2.1)进行统 计学分析。计量资料行正态性检验,用(x±s)或中位数(四分位 数)表示,组间比较采用独立样本 t 检验或Mann-Whitney U 检 验,计数资料用皮尔森卡方检验或Fisher确切概率法进行比较。 采用多因素Logistic 回归分析构建模型并绘制诺莫图,校准曲线 分析模型校正性能,应用 Hosmer-Lemeshow 检验进行模型拟 合优度评价(P>0.05表示拟合优度较好),Box-Tidwell检验对联 合模型中连续自变量与logit(P)之间进行线性关系评价(P>0.05表 示存在线性关系),通过接受者操作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线的AUC分析模型效能,各模型间 AUC利用Delong检验比较(P小于0.05表示模型之间AUC具有统计 学意义),DCA曲线评价模型临床效用。

### 2 结 果

2.1 一般资料 统计结果显示,良恶性结节患者在年龄和结节纵横比两个因素有统计学意义(P<0.05),且经多因素逻辑回归分析为临床独立因素并构建临床模型;余指标无统计学意义(P>0.05)(表1)。

2.2 影像组学特征提取及模型构建 FAE软件对三期图像共提取4632个特征(三期各1544个),删除无效特征和ICCs<0.8的特征后剩余2989个特征(动脉期1211个,静脉期1056个、延迟期722)。利用FAE对训练集数据进行维数缩减、特征筛选,使用LR-Lasso、5折交叉验证法进行影像组学模型构建和验证。计算各影像组学模型中训练集和测试集AUC,结果表明多期联合影像组学模型的AUC最高(表2),诊断效能优于单一期像影像组学模型。

え」  「「「」」」  「」」  「」」  「」」  「」」  「」」  「」」								
项目	训练集	(n=210)	P值	测试集	P值			
2	恶性结节组(n=129)	良性结节组(n=81)		恶性结节组(n=56)	良性结节组(n=34)			
性别			0.087			0.697		
男(例,n%)	24	8		10	5			
女(例,n%)	105	73		46	29			
年龄			< 0.01			< 0.01		
<45岁(例,n <sup>4</sup>	%) 79	20		38	7			
≥45岁(例,n	%) 50	61		18	27			
结节位置			0.485			0.582		
左叶(例,n%)	59	41		28	21			
右叶(例,n%)	62	38		24	11			
峡部(例,n%)	8	2	4	2				
平扫密度			0.093			0.295		
均匀(例,n%)	47	39		17	14			
不均匀(例,n <sup>d</sup>	%) 82	42		39	20			
结节囊变			0.044			0.149		
有(例,n%)	14	17		12	12			
无(例,n%)	115	64		44	22			
纵横比			< 0.01			0.021		
>1(例,n%)	48	13		23	6			
<1(例,n%)	81	68		33	28			
钙化			0.127			0.094		
有(例,n%)	43	19		14	3			
无(例,n%)	86	62		42	31			
边缘			0.405			0.041		
清晰(例,n%)	37	19		19	18			
模糊(例,n%)	92	62		37	14			
结节长径	7.60	7.20		6.65	7.40	0.760		
[mm, M(P25,F	975)] (5.75,9.45)	(5.10,9.90)	0.327	(5.60,9.00)	(5.20,10.00)	)		

表1 临床基本资料及CT影像特征资料

#### 表2 不同期像影像组学模型的效能比较

模型名称		AUC(95%	oCI)	准确度	灵敏度	持异度	阳性预测值	阴性预测值
动脉期模型	训练集	0.730(0.65	6-0.804)	0.762	0.915	0.518	0.752	0.793
	测试集	0.601(0.47	7-0.725	) 0.689	0.946	0.265	0.680	0.750
静脉期模型	训练集	0.794(0.73	0-0.859)	0.738	0.752	0.716	0.808	0.644
	测试集	0.678(0.56	63-0.793	) 0.678	0.714	0.618	0.755	0.568
延迟期模型	训练集	0.793(0.73	2-0.854)	0.710	0.682	0.753	0.815	0.598
	测试集	0.622(0.50	)3-0.741	) 0.600	0.482	0.794	0.794	0.482
多期联合								
组学模型	训练集	0.814(0.75	51-0.878	) 0.800	0.891	0.654	0.804	0.791
	测试集	0.718(0.60	8-0.828	) 0.667	0.571	0.824	0842	0.538

#### 注: AUC: 曲线下面积; 95%CI: 95%置信区间

2.3 综合诊断模型构建 使用多因素Logistic回归建立综合诊断模 型,模型纳入变量为纵横比(OR=2.643,95%CI: 1.807-6.426, P=0.032)、年龄(OR=0.179,95%CI:0.082-0.389,P<0.01)和 影像组学评分(OR=2.756,95%CI: 1.983-3.831, P<0.01),对 综合诊断模型中连续自变量(影像组学评分)进行Box-Tidwell检 验,结果(P=0.223)表明该变量与logit(P)之间存在线性关系。 临床模型、多期联合组学模型及综合诊断模型的AUC(图2)显 示,综合诊断模型的诊断效能优于临床模型及多期联合影像组 学模型(表3)。对训练集联合模型绘制诺莫图(图3),训练集和测 试集的校正曲线均显示了良好的校正性能(图4A、图4B),使用 Hosmer-Lemeshow 检验该模型拟合优度(训练集:  $x^2$ =1.562, P=0.458,测试集: x<sup>2</sup>=1.887, P=0.389),表明模型拟合存在偏 差可能性较小。Delong检验结果显示,临床模型与多期联合影 像组学模型之间的AUC差异无统计学意义(Z=-1.749,P=0.080),临 床模型与综合诊断模型之间(Z=-4.875,P<0.01)、多期联合影像组 学模型与综合诊断模型之间(Z=-2.819,P<0.01)的差异有统计学意

义。DCA显示综合诊断模型在训练集和测试集中均有良好的净收 益,临床效用较好(图5A、图5B)。

表3 不同诊断模型的效能比较

模型名称		AUC(95%CI)	准确度	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值
临床模型	训练集	0.732(0.668-0.796)	0.705	0.760	0.617	0.760	0.617
	测试集	0.766(0.671-0.861)	0.722	0.679	0.794	0.844	0.600
多期联合							
组学模型	训练集	0.814(0.751-0.878)	0.800	0.891	0.654	0.804	0.791
	测试集	0.718(0.608-0.828)	0.667	0.571	0.824	0.842	0.538
综合模型	训练集	0.876(0.829-0.922)	0.790	0.752	0.852	0.890	0.683
	测试集	0.813(0.723-0.902)	0.778	0.732	0.853	0.891	0.659

**2.4 影像组学模型的亚组分析**为了进一步验证影像组学模型在 4A结节组和4B结节组的诊断效能。利用散点-箱线图反映影像组 学模型在4A+4B结节组、4A结节组和4B结节组的诊断效能,结果 显示影像组学模型在4A+4B结节组、4A结节组和4B结节组均有良 好的诊断效能(图6)。



图1A-图1B 感兴趣区配准与勾画FAE软件板块选择



**图2A-图2B** 训练集(2A)和测试集(2B)的ROC曲线(红线为纳入年龄和纵横比构建的临床模型,蓝线为三期联合影像特征构建的影像组学模型,绿线为纳入年龄、纵横 比和三期联合影像组学特征构建的综合诊断模型)。

**图4A-图4B** 影像组学诺莫图预测训练集和测试集患者甲状腺结节良恶性的校正曲线(4A: 训练集校准曲线; 4B: 测试集校准曲线; 重复100次, 训练集平均绝对误 差为0.016, 测试集平均绝对误差为0.043)。

图5A-图5B 训练集(5A)和测试集(5B)的DCA曲线(红线为纳入年龄和纵横比构建的临床模型,蓝线为三期联合影像特征构建的影像组学模型,绿线为纳入年龄、纵横 比和三期联合影像组学特征构建的综合诊断模型)。

图6A-图6C 影像组学模型在4A结节组(6A)、4B结节组(6B)和4A+4B结节组(6C)散点-箱线图。

**图3** 基于训练集构建的影像组学诺莫图;年龄(1:≥45岁;0:<45岁);纵横比(1:纵横比>1;0:纵横比<1)。

## 3 讨 论

超声检查作为甲状腺病变的首选检查手段,具有良好的诊断 效能,但是由于超声检查依赖操作者水平,且良性和恶性的甲状 腺结节的超声特征相互重叠,导致利用超声特征预测甲状腺恶性 肿瘤的敏感性相对较低(26.5-59.1%)<sup>[14-15]</sup>。TI-RADS是通过对病 变的超声特征进行综合分析,对甲状腺结节进行风险分层的方 法,用来指导临床医生是否需要对甲状腺结节进行进一步处理 ,然而,最近的研究表明,TI-RADS具有较高的诊断敏感性, 但特异性较低,而微小结节由于结节体积小,超声特征不明显, TI-RADS的诊断敏感性和特异性均不高<sup>[8,15]</sup>。CT检查作为一种常 见影像学检查方法,在甲状腺病变的检测中应用广泛,图像信息 客观,能展示很多信息,但是诊断多依靠放射科医生的阅片条件 及诊断经验<sup>[17]</sup>。准确鉴别甲状腺微小结节的良恶性对患者治疗 及预后均有重要的意义,既往研究发现影像组学能够很好的预测 甲状腺癌颈部淋巴结转移<sup>[18]</sup>,影像组学列线图对TI-RADS 4~5类 甲状腺结节的良恶性也有很好的预测效果<sup>[19]</sup>,影像组学联合TI-RADS 可以提升甲状腺结节良恶性诊断的能力<sup>[12]</sup>。因此,本研究 基于增强CT影像组学探讨术前无创鉴别TI-RADS4A、4B类甲状腺 微小结节良恶性的价值。

甲状腺结节在CT图像中往往具有一些典型的征象,例如恶 性结节常伴砂砾样钙化、边缘中断呈"咬饼征"及形态不规则 等,良性结节常伴粗大钙化,边缘光整等,但是本研究中,是否 囊变、边缘是否清晰、平扫密度是否均匀、增强是否均匀强化等 征象对甲状腺微小结节的良恶性鉴别价值较低,仅有纵横比具有 一定的诊断价值,可能与结节体积较小,征象不明显或结节细 微变化难以观察有关<sup>[20-21]</sup>。本研究中,年龄大于或等于45岁的 患者其甲状腺结节的恶性概率小于年龄小于45岁的患者,这与 Paschou<sup>[20]</sup>等学者研究结果相符,且英国国家多学科指南中也将 是否大于45岁作为良恶性结节诊断的一个重要指标<sup>[22]</sup>。

提取医学图像中高通量特征参数来进行结果分析的影像组学 是作为肿瘤研究领域的一种创新工具<sup>[23]</sup>,近年来研究热度不断提 高,广泛应用于肿瘤良恶性鉴别、病理类型鉴别及预测生物学行 为等方面<sup>[10,24-25]</sup>,影像组学可以提取肉眼难以辨别但对疾病诊断 有指导价值的图像信息,这些信息可以提高我们对疾病的诊断准 确度<sup>[26]</sup>。在本研究中,影像组学模型对TI-RADS4A、4B类微小结 节的良恶性展现出了很好的诊断效能,在亚组分析中依旧有良好 的诊断效能,与既往学者的研究相似<sup>[27]</sup>。在多期图像勾画时,本 研究将甲状腺病灶显示最清晰的静脉期图像作为基准图像,将动 脉期和延迟期图像参考静脉期进行配准,有效提高对病灶勾画的 准确度,提升不同操作者间勾画的一致性。在特征提取、数据标 准化、数据降维及特征筛选中选择FAE软件来自动化操作<sup>[28]</sup>,可 以使得整个操作变得简单、快捷,从而提升影像组学在临床推广 及应用的可能性。

本研究具有一定的局限性:(1)本研究为回顾性分析,样本量 较少且为单中心研究,模型在其他中心的适用性有待验证。(2)本 研究尽管对医学图像进行配准,但ROI的勾画仍由人工勾画,人 为主观因素可能会对结果产生一定程度的影响。

综上所述,影像组学可以对超声TI-RADS 4A、4B类甲状腺微 小结节作出有效的诊断,且联合三期影像组学特征构建的多期联合 影像组学模型的诊断效能优于单一期像影像组学特征构建影像组学 模型;联合临床独立危险因素后的综合诊断模型在诊断效能及模型 稳定性上要高于临床模型和多期联合影像组学模型,并且在4A结节 及4B结节亚组分析中也得到进一步验证。在今后,影像组学可能 成为甲状腺微小结节术前诊断的一种无创且强有力的手段。

## 参考文献

- Lim H, Devesa SS, Sosa JA, et al. Trends in thyroid cancer incidence and mortality in the United States, 1974-2013 [J]. JAMA, 2017, 317 (13): 1338-1348.
   Guo SY, Zhou P, Zhang Y, et al. Exploring the value of radiomics features
- based on B-mode and contrast-enhanced ultrasound in discriminating the nature of thyroid nodules [J]. Frontiers in oncology, 2021, 11: 738909.
- [3]Grani G, Sponziello M, Pecce V, et al. Contemporary thyroid nodule evaluation and management[J]. The Journal of Clinical Endocrinology and

Metabolism, 2020, 105(9): 2869-2883.

- [4] Durante C, Grani G, Lamartina L, et al. The diagnosis and management of thyroid nodules: a review [J]. Jama, 2018, 319 (9): 914-924.
- [5] Fisher SB, Perrier ND. The incidental thyroid nodule[J]. CA: a cancer journal for clinicians, 2018, 68 (2): 97-105.
- [6] Hoang JK, Langer JE, Middleton WD, et al. Managing incidental thyroid nodules detected on imaging: white paper of the ACR Incidental Thyroid Findings Committee[J]. Journal of the American College of Radiology : JACR, 2015, 12 (2): 143-150.
- [7] Huang ST, Zhang B, Yin HL, et al. Incremental diagnostic value of shear wave elastography combined with contrast-enhanced ultrasound in TI-RADS category 4a and 4b nodules [J]. Journal of medical ultrasonics (2001), 2020, 47 (3): 453-462.
- [8]Zhang Y,Zhou P,Tian SM, et al. Usefulness of combined use of contrastenhanced ultrasound and TI-RADS classification for the differentiation of benign from malignant lesions of thyroid nodules[J]. European Radiology, 2017, 27 (4): 1527-1536.
- [9] Ramundo V, Sponziello M, Falcone R, et al. Low-risk papillary thyroid microcarcinoma: Optimal management toward a more conservative approach[J]. Journal of Surgical Oncology, 2020, 121(6): 958-963.
- [10] Jiang M, Li C, Tang S, et al. Nomogram based on shear-wave elastography radiomics can improve preoperative cervical lymph node staging for papillary thyroid carcinoma [J]. Thyroid : Official Journal of the American Thyroid Association, 2020, 30 (6): 885-897.
- [11]Yu J, Deng Y, Liu T, et al. Lymph node metastasis prediction of papillary thyroid carcinoma based on transfer learning radiomics [J]. Nature Communications, 2020, 11 (1): 4807.
- [12] Park VY, Lee E, Lee HS, et al. Combining radiomics with ultrasoundbased risk stratification systems for thyroid nodules: an approach for improving performance [J]. European radiology, 2021, 31 (4): 2405-2413.
- [13] 杜小萌, 陈艾琪, 曹胜男等. 多参数MR影像组学标签鉴别非典型纤维腺瘤与浸润性 乳腺癌 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (05): 130-133.
- [14] Park A Y, Son E J, Han K, et al. Shear wave elastography of thyroid nodules for the prediction of malignancy in a large scale study [J]. European journal of radiology, 2015, 84 (3): 407-412.
- [15] 吕国荣,杨海南,李尚青,等. 微钙化灶联合其他超声征象提高甲状腺微小结节诊断 效能的研究[J]. 中国超声医学杂志, 2020, 36 (8): 673-675.
- [16] Tessler F N, Middleton W D, Grant E G, et al. ACR thyroid imaging, reporting and data system (TI-RADS): white paper of the ACR TI-RADS committee[J]. Journal of the American College of Radiology : JACR, 2017, 14(5): 587-595.
- [17] Gao M, Ge M, Ji Q, et al. 2016 Chinese expert consensus and guidelines for the diagnosis and treatment of papillary thyroid microcarcinoma[J]. Cancer biology & medicine, 2017, 14 (3): 203-211.
- [18] 卢天宇,鲁辛健,陈润,等.基于CT影像组学诺模图术前预测甲状腺乳头状癌颈部淋 巴结转移[J].临床放射学杂志,2022,41(10):1846-1852.
- [19] 石艳萍, 蒋艳, 王嘉俊, 等. 基于超声影像组学诺模图预测甲状腺TI-RADS 4~5类结 节良恶性[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37 (12): 1328-1332.
- [20] Paschou SA, Vryonidou A, Goulis DG. Thyroid nodules: a guide to assessment, treatment and follow-up[J]. Maturitas, 2017, 96: 1-9.
- [21] 谢凌, 郭道宁, 程瑞红, 等. 超声联合MSCT对甲状腺结节诊断价值对比分析 [J]. 中国 CT和MRI杂志, 2020, 18 (9): 50-52.
- [22] Mitchell AL, Gandhi A, Scott-Coombes D, et al. Management of thyroid cancer: United Kingdom National multidisciplinary guidelines [J]. The Journal of Laryngology and Otology, 2016, 130 (S2): s150-s160.
- [23] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis [J]. European Journal of Cancer (Oxford, England : 1990), 2012, 48 (4): 441-446.
- [24] 唐鹏洲,任采月,王月明,等.基于CT影像组学列线图鉴别甲状腺良性与恶性滤泡性 肿瘤的价值[J].中华放射学杂志,2022,56(2):136-141.
- [25] 高玉青, 王小雷, 徐鹤, 等. 基于增强CT影像组学术前预测胃癌淋巴结转移 [J]. 中国 CT和MRI杂志, 2022, 20 (11): 140-142.
- [26] Avanzo M, Stancanello J, El Naqa I. Beyond imaging: the promise of radiomics [J]. Physica medica : PM : an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology :official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB), 2017, 38: 122-139.
- [27]Wu X, Li J, Mou Y, et al. Radiomics Nomogram for Identifying Sub-1 cm Benign and Malignant Thyroid Lesions [J]. Frontiers in oncology, 2021, 11: 580886.
- [28] Song Y, Zhang J, Zhang Y D, et al. FeAture Explorer (FAE): a tool for developing and comparing radiomics models [J]. PloS one, 2020, 15 (8): e0237587.

(收稿日期: 2023-04-18) (校对编辑: 姚丽娜)