



· 论 著 ·

基于双模态超声影像组学模型预测临床淋巴结阴性甲状腺乳头状癌中央区淋巴结转移

杨 洁, 李梦琳, 崔广和, 王文娟, 徐宇缘, 赵婧瑄, 刘菲菲

滨州医学院附属医院超声医学科, 山东 滨州 256603

[摘要] 目的: 探讨基于临床淋巴结阴性 (clinical lymph node-negative, CN0) 甲状腺乳头状癌 (papillary thyroid carcinoma, PTC) 原发灶的双模态超声图像 (常规灰阶超声和应变式弹性成像) 影像组学评分 (Rad-score) 联合超声特征构建列线图模型, 用于术前预测中央区淋巴结转移 (central lymph node metastasis, CLNM) 的临床价值。方法: 回顾并纳入2022年3月—2023年12月于滨州医学院附属医院行甲状腺切除术联合预防性中央区淋巴结清扫 (prophylactic central lymph node dissection, pCLND) 的CN0 PTC患者, 按7:3比例随机分为训练集和测试集。根据术后病理学检查结果分为CLNM阳性组与阴性组。采用Python对双模态超声图像进行预处理, 使用3D Slicer软件手动勾画病灶感兴趣区 (region of interest, ROI), 基于Pyradiomics提取影像组学特征, 通过最小冗余最大相关算法 (minimal redundancy maximal relevance, mRMR) 和最小绝对收缩与选择算子 (least absolute shrinkage and selection operator, LASSO) 筛选最优特征, 并利用随机森林算法分别构建常规灰阶超声、应变式弹性超声及双模态超声影像组学模型并生成Rad-score。通过单因素及多因素logistic回归分析筛选CLNM的独立危险因素并构建临床模型。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评估各模型预测性能, 筛选曲线下面积 (area under curve, AUC) 最优的双模态Rad-score联合独立危险因素建立联合模型并绘制列线图。结果: 共纳入220例患者, 其中CLNM阳性组80例, 阴性组140例。常规灰阶超声、应变式弹性超声及双模态超声3种影像组学模型在训练集的AUC分别为0.697 (95% CI 0.620~0.773)、0.715 (95% CI 0.639~0.792)、0.734 (95% CI 0.626~0.857), 在测试集的AUC分别为0.703 (95% CI 0.585~0.823)、0.731 (95% CI 0.617~0.845)、0.742 (95% CI 0.637~0.871)。结节最大径及被膜是否侵犯作为独立危险因素构建的临床模型, 在训练集及测试集的AUC分别为0.674 (95% CI 0.599~0.748)、0.675 (95% CI 0.561~0.789)。双模态Rad-score联合结节最大径、被膜是否侵犯构建的联合模型并绘制列线图, 在训练集和测试集AUC分别为0.776 (95% CI 0.701~0.851)、0.754 (95% CI 0.659~0.810)。列线图模型的AUC优于3种影像组学模型和临床模型 ($P<0.05$)。结论: 列线图模型具有较好的预测效能, 其作为可视化工具, 在术前预测临床淋巴结阴性甲状腺乳头状癌CLNM状态具有重要的价值, 有望协助临床制订个体化诊疗方案。

[关键词] 双模态超声检查; 影像组学; 甲状腺乳头状癌; 临床淋巴结阴性; 中央区淋巴结转移

中图分类号: R736.1; R445.1 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.01.007

基金项目: 无。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: 2023KT-245。

知情同意: 豁免。

引用本文: 杨 洁, 李梦琳, 崔广和, 等. 基于双模态超声影像组学模型预测临床淋巴结阴性甲状腺乳头状癌中央区淋巴结转移[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(1): 48-56.

Funding: no.

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: 2023KT-245.

Informed consent: exemption.

Cite this article: YANG J, LI M L, CUI G H, et al. Prediction of central lymph node metastasis in clinically lymph node negative papillary thyroid carcinoma based on dual-modal ultrasound radiomics model [J]. Oncoradiology, 2026, 35(1): 48-56.

Prediction of central lymph node metastasis in clinically lymph node negative papillary thyroid carcinoma based on dual-modal ultrasound radiomics model YANG Jie, LI Menglin, CUI Guanghe, WANG Wenjuan, XU Yuyuan, ZHAO

Jingxuan, LIU Feifei (Department of Ultrasound, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256603, China)

Correspondence to: LIU Feifei E-mail: niu.feifei@163.com

[Abstract] Objective: To explore the clinical value of a nomogram model constructed based on radiomics scores (Rad-score) of dual-modal ultrasound images (conventional gray-scale ultrasound and strain elastography) of the primary lesion of clinical lymph node-negative (CN0) papillary thyroid carcinoma (PTC) combined with ultrasound features for preoperative prediction of central lymph node metastasis (CLNM). **Methods:** Patients with CN0 PTC who underwent thyroidectomy and prophylactic central lymph node dissection (pCLND) at Binzhou Medical University Hospital from March 2022 to December 2023 were retrospectively included and randomly divided into a training set and a test set at a ratio of 7:3. According to the postoperative pathological results, patients were divided into a CLNM positive group and a negative group. Python was used for pre-processing of the dual-modal ultrasound images, and the region of interest (ROI) of the lesion was manually delineated using 3D Slicer software. Radiomics features were extracted based on Pyradiomics, and the optimal features were selected through the minimum redundancy maximum relevance (mRMR) algorithm and the least absolute shrinkage and selection operator (LASSO). Random forest algorithms were used to construct radiomics models for conventional gray-scale ultrasound, strain elastography, and dual-modal ultrasound, and generate Rad-score. Univariate and multivariate logistic regression analyses were conducted to screen independent risk factors for CLNM and construct a clinical model. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the predictive performance of each model. The area under the curve (AUC) was used to select the optimal bimodal Rad-score combined with independent risk factors to establish a combined model and draw a nomogram. **Results:** A total of 220 patients were included, comprising 80 in the CLNM positive group and 140 in the CLNM negative group. The AUCs of the three radiomics models based on conventional gray-scale ultrasound, strain elastography ultrasound, and dual-modal ultrasound in the training set were 0.697 (95% CI 0.620-0.773), 0.715 (95% CI 0.639-0.792), and 0.734 (95% CI 0.626-0.857), respectively, and in the test set were 0.703 (95% CI 0.585-0.823), 0.731 (95% CI 0.617-0.845), and 0.742 (95% CI 0.637-0.871), respectively. The clinical model constructed with the maximum diameter of the nodule and whether the capsular invades as independent risk factors had AUCs of 0.674 (95% CI 0.599-0.748) in the training set and 0.675 (95% CI 0.561-0.789) in the test set. The combined model constructed by dual-modal Rad-score and the maximum diameter of the nodule and whether the capsular invades, and the nomogram were plotted, with AUCs of 0.776 (95% CI 0.701-0.851) in the training set and 0.754 (95% CI 0.659-0.810) in the test set. The AUC of the nomogram model was superior to that of the three radiomics models and the clinical model ($P<0.05$). **Conclusion:** The nomogram model has good predictive performance. As a visualization tool, it is of great value in preoperative prediction of central lymph node metastasis in clinical lymph node negative papillary thyroid carcinoma and is expected to assist in the formulation of individualized treatment plans in clinical practice.

[Key words] Dual-mode ultrasound examination; Radiomics; Thyroid papillary carcinoma; Clinical lymph node negative; Central lymph node metastasis

近年来甲状腺恶性肿瘤的发病率呈逐年上升趋势，甲状腺乳头状癌（papillary thyroid carcinoma, PTC）是甲状腺恶性肿瘤中最常见的病理学类型，发生中央区淋巴结转移（central lymph node metastasis, CLNM）的概率高达20%~80%^[1-2]。CLNM是PTC患者生存率降低和复发风险增加的高危因素，与预后及治疗指导密切相关，因此术前早期诊断CLNM具有重要的临床意义。尽管常规超声是诊断甲状腺疾病的首选手段，但其在术前评估CLNM方面作用有限，其灵敏度小于40%^[3]。影像组学能够深度挖掘超声图像中的定量特征，将肿瘤

的异质性转变成可视化数据，从而提供客观有效的预测信息，对PTC患者CLNM具有良好的诊断价值^[4-5]，为术前更全面、无创地评估淋巴结转移提供了新方法。现有的预测PTC患者CLNM的影像组学研究多基于单一模态超声图像，而基于临床淋巴结阴性（clinical lymph node negative, CN0）PTC双模态超声图像影像组学列线图预测CLNM鲜有研究。因此本研究拟提取CN0 PTC患者的双模态超声图像影像组学特征联合超声特征构建预测模型，并绘制列线图进行模型可视化，探讨其对CLNM的预测价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象

回顾并分析2022年3月—2023年12月于滨州医学院附属医院进行超声检查的PTC患者的超声图像及临床、超声特征。纳入标准：①术前行超声检查，且临床资料及超声图像完整；②术后病理学检查确诊为PTC。排除标准：①术前明确有颈部淋巴结转移；②既往有甲状腺手术史；③有其他恶性肿瘤史。

本研究经医院伦理委员会批准（2023 KT-245）。

1.2 双模态超声特征及图像采集

采用美国GE公司的Logiq E9超声诊断仪，使用9~15 MHz线阵高频探头。患者取仰卧位，头部后仰充分暴露颈部，多切面二维超声扫查甲状腺，观察并记录甲状腺结节的最大径、形态、边界、纵横比、微钙化、被膜是否侵犯等超声特征。保持探头固定在结节最大长轴切面，切换至应变式弹性成像模式，根据质控标准进行应变式弹性成像图像的采集和存储，依据Itoh等^[6]提出的5分法根据弹性图像颜色对组织弹性成像进

行弹性评分，分为1~5分。评分 ≥ 3 分的病灶诊断为恶性病变， ≤ 2 分的病灶诊断为良性病变。

1.3 影像组学分析及模型建立

1.3.1 图像的预处理及感兴趣区（region of interest, ROI）的勾画

由于原始采集的灰阶超声图像与弹性超声图像为双幅同屏显示（图1），本研究首先采用Python（3.8.0）将其分割为独立的常规灰阶图像及复合弹性图像（图2A）。通过对两图像进行矩阵化与空间配准后，利用图像相减法去除复合弹性图像中的背景干扰，经降噪与数据增强处理，提取出仅包含弹性信息的纯彩色弹性图像。随后基于openCV包将纯彩色弹性图像灰度化并量化为256级，并以此为标准对纯彩色弹性图像的所有像素点进行赋值匹配，最终获得标准化的灰度弹性图像（图2B）。将处理好的超声图像导入3D Slicer软件，由1名具有5年以上工作经验的超声科医师沿常规灰阶超声图像结节边缘进行ROI的勾画（图2C），另1名具有8年以上工作经验的超声科医师进行审核，并将常规灰阶超声图像上勾画的ROI复制到相应的将应变式弹性超声图像预处理后的灰度弹性图像上，从而获取弹性超声图像的结节ROI（图2D）。

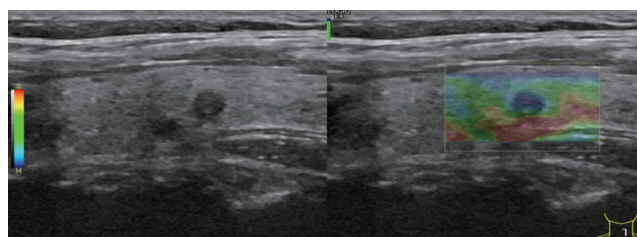


图1 常规灰阶超声与弹性成像模式双幅显示界面超声图像

Fig.1 Dual-image display interface of conventional gray-scale ultrasound and elastography mode showing ultrasound images

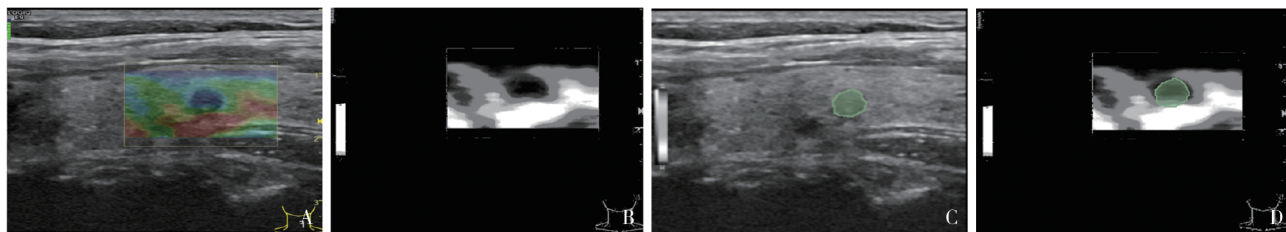


图2 处理后的弹性超声图像及使用3D Slicer软件勾画ROI示意图

Fig.2 The processed elastography images and the schematic diagram of the delineation of the ROI using the 3D slicer software are presented

A: 使用python将双幅显示界面分割成的复合弹性图像；B: 处理后的灰度弹性图像；C: 沿常规灰阶超声图像病灶边缘勾画的ROI；D: 灰度弹性图像病灶ROI。

1.3.2 影像组学特征的提取与筛选

使用Pyradiomics工具包^[7]分别从常规灰阶超声及应变式弹性超声图像ROI中自动提取影像组学特征,包括形状特征、一阶统计特征、纹理特征及滤波特征。采用Z-score将双模态超声图像影像组学特征进行标准化处理。应用最小冗余最大相关算法(minimal redundancy maximal relevance, mRMR)筛选相关性强且冗余度低的特征,使用最小绝对收缩和选择算子算法(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)进一步进行特征选择和系数压缩,最终筛选出与CLNM最相关的影像组学特征。

1.3.3 影像组学模型的构建与评估

基于筛选出的双模态超声图像最优影像组学特征集,使用5折交叉验证和网格搜索法寻找各模型的最优超参数,采用随机森林算法分别构建3组影像组学模型,即常规灰阶超声、应变式弹性超声和双模态影像组学模型,并计算各模型的影像组学评分(Rad-score)。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,比较3组影像组学模型的曲线下面积(area under curve, AUC),获得AUC最优的影像组学模型。

1.3.4 列线图构建与模型评估

对临床、超声特征进行单因素和多因素logistic回归分析,筛选出与CLNM有关的独立危险因素,构建临床模型。选择AUC最大的影像组学模型Rad-score联合独立危险因素构建联合模型并绘制列线图。

绘制各模型的ROC曲线,并评估模型预测效能,计算各模型的AUC、准确度、灵敏度、特异度,采用校准曲线评估列线图的拟合优度,采用决策曲线分析评估模型的临床实用价值。

1.4 统计学处理

采用Python 3.8.0及SPSS 26.0软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney U 秩和检验。计数资料以 n

(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher精确概率检验。采用ROC曲线评估各模型预测性能。所有 P 值均为双侧显著性检验结果, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 患者的基线资料

本研究最终共纳入220例接受甲状腺切除术并进行预防性中央区淋巴结清扫(prophylactic central lymph node dissection, pCLND)的CN0 PTC患者,根据术后病理学检查结果将患者分为CLNM阳性组80例与CLNM阴性组140例。其中女性167例,男性53例,年龄16~81岁,平均年龄(50.99±11.06)岁(图3)。按7:3比例将220例CN0 PTC患者随机划分为训练集154例,测试集66例。训练集和测试集中患者各基线特征比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。单因素分析显示,CN0 PTC患者CLNM与结节最大径、弹性评分、被膜是否侵犯相关,在训练集和测试集中差异均有统计学意义($P<0.05$),微钙化仅在训练集中比较,差异有统计学意义($P<0.05$),年龄、性别、边界、形态在训练集和测试集中比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。将单因素分析在训练集和测试集中比较均具有统计学意义的指标纳入多因素分析,结果显示,结节最大径、被膜是否侵犯是CLNM的独立危险因素,见表2。

2.2 影像组学特征选择及模型构建

从常规灰阶超声和应变式弹性超声图像中各提取953个影像组学特征,两者联合的多模态超声图像共提取1906个特征,经过特征筛选后分别保留了2、9、5个与CLNM相关的特征,分别构建常规灰阶超声、应变式弹性超声和双模态影像组学模型。ROC曲线分析显示,双模态影像组学模型(训练集AUC为0.73;测试集AUC为0.74)的AUC优于常规灰阶超声影像组学模型(训练集AUC为0.70;测试集AUC为0.70)及应变式弹性超声影像组学模型(训练集AUC为0.72;测试集AUC为0.73)。

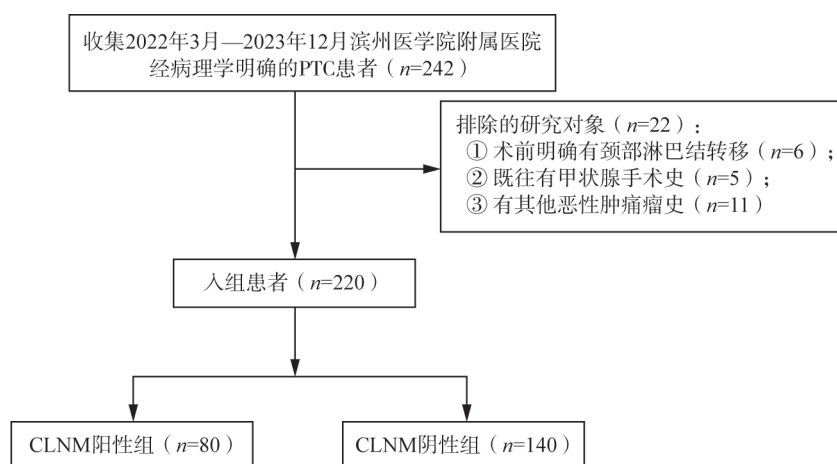


图3 研究对象纳入流程图

Fig.3 Research subject inclusion flowchart

表1 训练集和测试集中CN0 PTC患者CLNM单因素分析

Tab.1 Univariate analysis of CLNM in CN0 PTC patients in the training set and test set

特征	训练集				测试集				n(%)
	CLNM (-) (n=95)	CLNM (+) (n=59)	χ^2 值	P值	CLNM (-) (n=45)	CLNM (+) (n=21)	χ^2 值	P值	
年龄			3.561	0.059			0.000	1.000	
<55岁	73 (76.8)	37 (62.7)			30 (66.7)	14 (66.7)			
≥55岁	22 (23.2)	22 (37.3)			15 (33.3)	7 (33.3)			
性别			2.203	0.138			0.003	0.955	
女性	76 (80.0)	41 (69.5)			34 (75.6)	16 (76.2)			
男性	19 (20.0)	18 (30.5)			11 (24.4)	5 (23.8)			
结节最大径			29.652	0.000			6.003	0.014	
≤10 mm	79 (83.2)	24 (40.7)			35 (77.8)	10 (47.6)			
>10 mm	16 (16.8)	35 (59.3)			10 (22.2)	11 (52.4)			
边界			0.852	0.356			0.725	0.394	
清晰	22 (23.2)	10 (16.9)			13 (28.9)	4 (19.0)			
不清晰	73 (76.8)	49 (83.1)			32 (71.1)	17 (81.0)			
形态			0.011	0.915			1.386	0.239	
规则	75 (78.9)	47 (79.7)			36 (80.0)	14 (66.7)			
不规则	20 (21.1)	12 (20.3)			9 (20.0)	7 (33.3)			
纵横比			0.023	0.881			2.452	0.117	
<1	17 (17.9)	10 (16.9)			9 (20.0)	8 (38.1)			
≥1	78 (82.1)	49 (83.1)			36 (80.0)	13 (61.9)			
微钙化			3.909	0.048			0.303	0.582	
无	65 (68.4)	31 (52.5)			27 (60.0)	12 (57.1)			
有	30 (31.6)	28 (47.5)			18 (40.0)	9 (42.9)			
弹性评分			4.309	0.038			3.991	0.046	
≤2	38 (40.0)	14 (23.7)			20 (44.4)	4 (19.0)			
≥3	57 (60.0)	45 (76.3)			25 (55.6)	17 (81.0)			
被膜是否侵犯			27.338	0.000			13.855	0.000	
否	80 (84.2)	26 (44.1)			39 (86.7)	9 (42.9)			
是	15 (15.8)	33 (55.9)			6 (13.3)	12 (57.1)			

表2 多因素logistic回归分析预测CN0 PTC患者CLNM
Tab.2 Multivariate logistic regression analysis for predicting CLNM in CN0 PTC patients

影响因素	回归系数	P值	OR值 (95% CI)
结节最大径	-1.809	0.000	0.164 (0.076~0.354)
弹性评分	0.217	0.623	1.243 (0.522~2.959)
被膜是否侵犯	-1.188	0.006	0.305 (0.130~0.712)

2.3 临床模型及联合模型构建

经单因素及多因素logistic回归分析显示，结节最大径及被膜是否侵犯是预测CN0 PTC患者CLNM的独立风险因素，基于独立风险因素构建临床模型（训练集AUC为0.67；测试集AUC为0.68）。选择AUC最高的双模态影像组学模型的Rad-score联合结节最大径、被膜是否侵犯，通过多因素logistic回归分析构建联合模型并绘制列线图

图进行模型可视化（图4）。

2.4 模型预测效能评估

绘制常规灰阶超声影像组学模型、应变式弹性超声影像组学模型、双模态影像组学模型、临床模型、联合模型的ROC曲线（图5），各模型的AUC、准确度、灵敏度、特异度见表3。ROC曲线分析显示，联合模型预测效能最佳，在训练集和测试集中的AUC分别为0.78、0.75，优于常规灰阶超声、应变式弹性超声及双模态3种影像组学模型和临床模型。

决策曲线显示联合模型在临床净收益方面整体优于3种影像组学模型和临床模型（图6A），校准曲线显示联合模型的实际曲线与理论曲线接近，表示具有良好的一致性（图6B）。

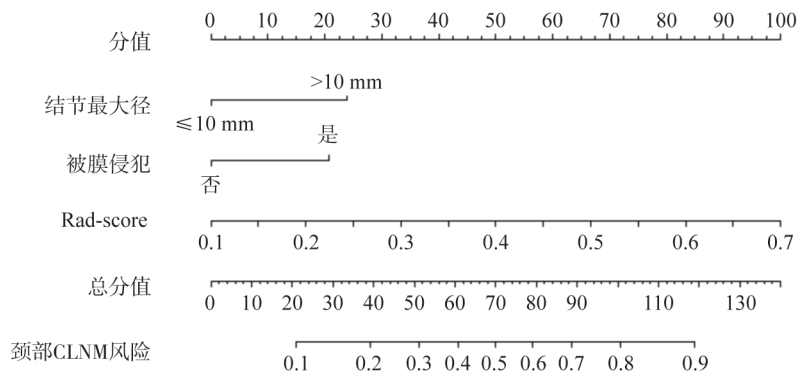


图4 联合模型预测CN0 PTC患者发生CLNM风险概率的列线图

Fig.4 Nomogram for predicting the risk probability of CLNM in CN0 PTC patients by the combined model

Rad-score: 双模态影像组学评分。

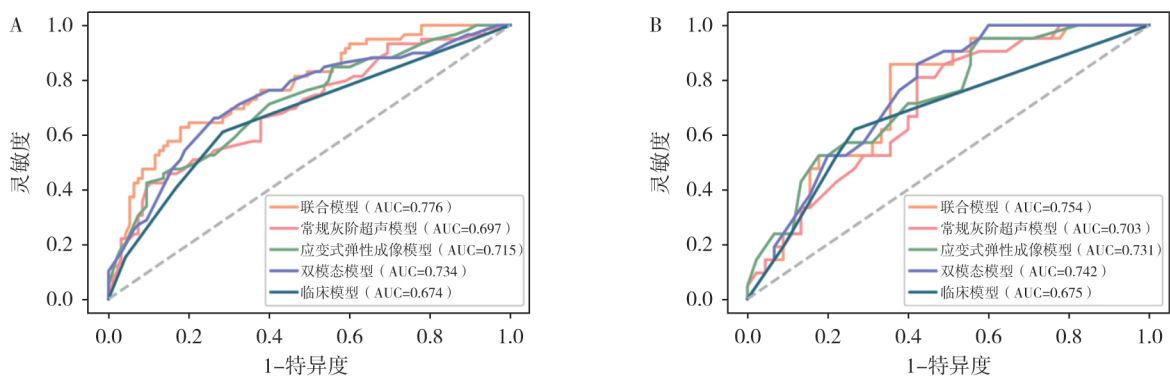


图5 5种CLNM预测模型在训练集(A)和测试集(B)中的ROC曲线

Fig.5 The ROC curves of the five CLNM prediction models in the training set (A) and the test set (B)

表3 5种CLNM预测模型的诊断效能比较

Tab.3 Comparison of diagnostic efficacy of five CLNM prediction models

模型	组别	AUC (95% CI)	准确度	灵敏度	特异度
常规灰阶超声影像组学模型	训练集	0.697 (0.620~0.773)	0.636	0.621	0.661
	测试集	0.703 (0.583~0.823)	0.621	0.644	0.571
应变式弹性超声影像组学模型	训练集	0.715 (0.639~0.792)	0.643	0.600	0.712
	测试集	0.731 (0.617~0.845)	0.697	0.756	0.571
双模态影像组学模型	训练集	0.734 (0.626~0.857)	0.662	0.676	0.763
	测试集	0.742 (0.637~0.871)	0.667	0.622	0.762
临床模型	训练集	0.674 (0.599~0.748)	0.669	0.632	0.610
	测试集	0.675 (0.561~0.789)	0.682	0.644	0.619
联合模型	训练集	0.776 (0.701~0.851)	0.675	0.716	0.729
	测试集	0.754 (0.659~0.810)	0.697	0.733	0.762

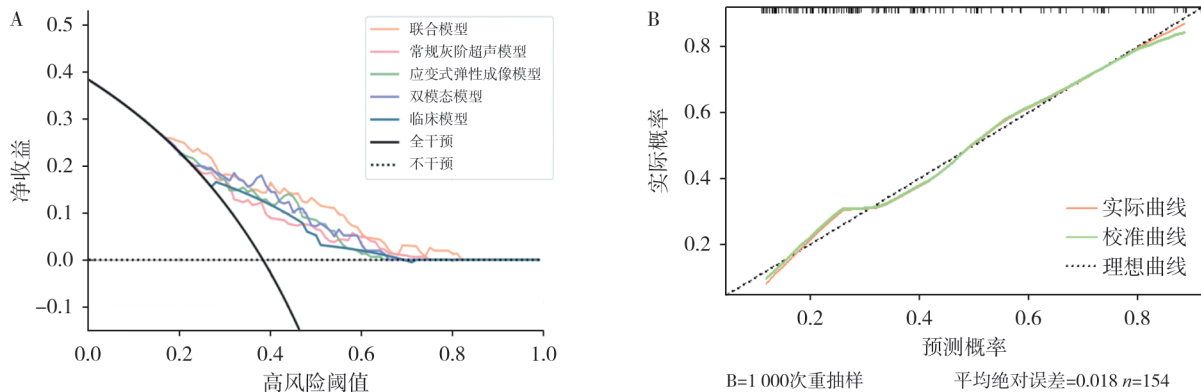


图6 CLNM预测模型的决策曲线 (A) 和校准曲线 (B)

Fig.6 The decision curve (A) and calibration curve (B) of the CLNM prediction model

3 讨 论

根据美国甲状腺协会 (American Thyroid Association, ATA) 指南, CLNM 被视为一个关键的评估指标, 认为 CLNM 与甲状腺癌术后复发及远处转移的发生密切相关^[8]。目前临床对术前检查发现有颈部 CLNM 的 PTC 患者常规行 pCLND, 然而, 据报道, 高达 70% 的 CN0 PTC 患者在病理学上表现为阴性 CLNM^[9-10], 因此对于术前 CN0 PTC 患者是否行 pCLND 仍存在一定争议^[11-12]。此外, pCLND 会导致甲状旁腺损伤、低钙血症及喉返神经损伤等并发症。因此, 术前准确评估 CN0 PTC 患者 CLNM 状态对于其手术切除范围的决定尤为重要。

超声检查是诊断甲状腺疾病的一线检查方法, 能动态观察病灶大小、形态、边缘等信息变

化, 应变式弹性成像技术可以额外提供组织的硬度信息, 是常规灰阶超声的重要补充。然而, 传统的超声检查诊断 CLNM 灵敏度有限。影像组学可自动地将超声图像转变为客观、量化的特征数据, 从而定量评估疾病, 一定程度上克服了传统超声诊断的主观性。合适的分类算法是影像组学的核心, 既往研究^[13]表明, 随机森林算法具有较好的鲁棒性及较强的抗过拟合能力, 其诊断效能优于其他机器学习分类算法, 因此本研究采用随机森林算法, 基于甲状腺病灶超声图像构建了常规灰阶超声、应变式弹性超声及双模态超声影像组学模型, 研究结果显示, 3 种影像组学模型均表现出较好的预测效能, 其中双模态影像组学模型的 AUC 优于常规灰阶超声及应变式弹性超声影像组学模型。

本研究纳入的临床、超声特征经单因素及多因素 logistic 回归分析显示, 结节最大径及被膜是

否侵犯是CN0 PTC患者发生CLNM的独立危险因素。既往研究^[14]表明, PTC患者结节大小是CLNM的重要危险因素, 结节直径越大出现颈部淋巴结转移的风险也越大, 其中肿瘤大小>10 mm的PTC患者被认为更容易发生CLNM。本研究中, 59.3% (35/59) 结节最大径>10 mm的CN0 PTC患者发生了CLNM, 可能是随着结节体积的增大, 结节内部新生血管及淋巴管数目会明显增加, 从而增加了CLNM的风险。被膜是否侵犯是甲状腺癌患者重要的侵袭指标, Lu等^[15]的研究表明, 被膜是否侵犯是发生CLNM的重要危险因素, 在本研究中有被膜是否侵犯的PTC患者的CLNM发生率为55.9% (33/59), 这与既往研究^[16]结果一致, 可能主要与肿瘤的生长特性、位置及其与周围组织的关系密切相关, 当肿瘤细胞突破被膜后, 更容易沿着淋巴管向颈部淋巴结进行扩散和转移。

列线图作为一种可视化工具可将复杂的个体化统计预测模型转化成简单易懂的图形。本研究将AUC最高的双模态Rad-score联合结节最大径及被膜是否侵犯构建联合模型, 并基于联合模型绘制列线图, 结果显示联合模型的预测效能优于3种影像组学模型及临床模型。这一结果表明, 将影像组学特征与独立危险因素相结合, 不仅能够整合多源信息, 还能通过列线图的可视化呈现, 为临床医师提供更全面、客观的术前预测依据, 从而辅助制订患者个体化治疗方案。

本研究的局限性: ①本研究是一项单中心、回顾性研究, 可能存在一定的选择偏倚; ②本研究中ROI由超声科医师进行手动勾画, 比较费时费力; ③研究数据量较少, 未来有待扩大队列进一步探索模型间差异及模型的泛化能力。

综上所述, 基于PTC原发灶双模态超声图像的Rad-score联合结节最大径及被膜是否侵犯构建的列线图模型具有较好的预测价值, 有望为临床医师评估CN0 PTC患者是否行pCLND提供有用的参考。

第一作者:

杨洁 (ORCID: 0009-0006-3179-3471), 硕士研究生, 住院医师。

通信作者:

刘菲菲 (ORCID: 0009-0009-4319-6035), 博士研究生, E-mail: niu.fei521@163.com。

作者贡献声明:

杨洁: 酝酿和设计实验, 实施研究, 采集数据, 起草文章; 李梦琳: 分析、解释数据, 统计分析; 崔广和: 对文章的知识性内容作批评性审阅; 王文娟、徐宇缘、赵婧瑄: 采集数据, 统计分析; 刘菲菲: 酝酿和设计实验, 对文章的知识性内容作批评性审阅, 获取研究经费, 指导。

[参 考 文 献]

- [1] GAO X, LUO W P, HE L Y, et al. Predictors and a prediction model for central cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma (cN0) [J]. *Front Endocrinol*, 2022, 12: 789310.
- [2] TONG Y Y, ZHANG J W, WEI Y, et al. Ultrasound-based radiomics analysis for preoperative prediction of central and lateral cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma: a multi-institutional study [J]. *BMC Med Imaging*, 2022, 22(1): 82.
- [3] ZHAO H Q, LI H H. Meta-analysis of ultrasound for cervical lymph nodes in papillary thyroid cancer: diagnosis of central and lateral compartment nodal metastases [J]. *Eur J Radiol*, 2019, 112: 14-21.
- [4] FENG J W, LIU S Q, QI G F, et al. Development and validation of clinical-radiomics nomogram for preoperative prediction of central lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma [J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(6): 2292-2305.
- [5] HAJIESMAILPOOR Z, KARGAR Z, TABNAK P. Radiomics diagnostic performance in predicting lymph node metastasis of papillary thyroid carcinoma: a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Radiol*, 2023, 168: 111129.
- [6] ITOH A, UENO E, TOHNO E, et al. Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis [J]. *Radiology*, 2006, 239(2): 341-350.
- [7] VAN GRIETHUYSEN J J M, FEDOROV A, PARMAR C, et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype [J]. *Cancer Res*, 2017, 77(21): e104-e107.
- [8] HAUGEN B R, ALEXANDER E K, BIBLE K C, et al. 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American Thyroid Association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer [J]. *Thyroid*, 2016, 26(1): 1-133.
- [9] WANG J B, SUN Y Y, SHI L H, et al. Predictive factors for non-small-volume central lymph node metastases (more than 5 or ≥ 2 mm) in clinically node-negative papillary thyroid carcinoma [J]. *Medicine*, 2019, 98(1): e14028.
- [10] XU S Y, YAO J J, ZHOU W, et al. Clinical characteristics and ultrasonographic features for predicting central lymph node metastasis in clinically node-negative papillary thyroid carcinoma without capsule invasion [J]. *Head Neck*, 2019, 41

- (11): 3984–3991.
- [11] HUANG C W, YAN W X, ZHANG S M, et al. Real-time elastography: a web-based nomogram improves the preoperative prediction of central lymph node metastasis in CN0 PTC [J]. *Front Oncol*, 2022, 11: 755273.
- [12] PARVATHAREDDY S K, SIRAJ A K, AHMED S O, et al. Risk factors for central lymph node metastases and benefit of prophylactic central lymph node dissection in middle eastern patients with cN0 papillary thyroid carcinoma [J]. *Front Oncol*, 2022, 11: 819824.
- [13] LEE K S, PARK H. Machine learning on thyroid disease: a review [J]. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 2022, 27(3): 101.
- [14] CHEN F, JIANG S P, YAO F, et al. A nomogram based on clinicopathological and ultrasound characteristics to predict central neck lymph node metastases in papillary thyroid cancer [J]. *Front Endocrinol*, 2024, 14: 1267494.
- [15] LU J R, LIAO J T, CHEN Y H, et al. Risk factor analysis and prediction model for papillary thyroid carcinoma with lymph node metastasis [J]. *Front Endocrinol*, 2023, 14: 1287593.
- [16] 何惠珍, 叶洁仪, 黄伟俊. 多模态超声检查对甲状腺乳头状癌颈部中央区淋巴结转移的预测价值 [J]. *肿瘤影像学*, 2024, 33(6): 609–614.
- HE H Z, YE J Y, HUANG W J. The predictive value of multimodal ultrasound in central lymph node metastasis of papillary carcinoma of the thyroid [J]. *Oncoradiology*, 2024, 33(6): 609–614.
- (收稿日期: 2025-05-29 修回日期: 2025-08-24)

《中国癌症杂志》2026年征订启事

《中国癌症杂志》1991年创刊,是由中华人民共和国教育部主管、复旦大学附属肿瘤医院主办的全国性肿瘤类学术期刊。名誉主编为汤钊猷、曹世龙、沈镇宙教授,主编为邵志敏教授。旨在传播肿瘤学领域前沿研究成果,注重肿瘤临床、基础、转化等最新研究成果,促进我国肿瘤领域研究成果的交流,提高肿瘤防治水平,服务健康中国战略。

《中国癌症杂志》为中文核心期刊(《中文核心期刊要目总览(2023年版)》收录)、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库(CSCD)收录期刊、“中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)”项目来源期刊,并被国内多家大型数据库收录。国际上,《中国癌症杂志》目前被荷兰Scopus数据库及EMBASE数据库、DOAJ数据库、《化学文摘》(CA)、《乌利希期刊指南》(Ulrich's Periodical Directory)、EBSCO数据库、日本科学技术振兴机构数据库(JST)、波兰《哥白尼索引》以及《WHO西太平洋地区医学索引》(WPRIM)收录。

《中国癌症杂志》主要报道国内外肿瘤学领域前沿的研究内容,包括肿瘤的临床医学、基础医学、流行病学等。开设栏目包括专家述评与论著、论著、综述、论著选登、个案报道、指南与共识等。

《中国癌症杂志》为月刊,A4开本,80页,铜版纸(随文彩图)印刷,每月30日出版,单价30元,全年360元。国际标准连续出版物号(ISSN)1007-3639,国内统一连续出版物号(CN)31-1727/R,邮发代号4-575,读者可在当地邮政局订阅。

联系地址:上海市东安路270号复旦大学附属肿瘤医院10号楼415室。

邮 编:200032

电 话:021-64188274;021-64175590-83574

网 址:www.china-oncology.com

E - m a i l:zgazz@china-oncology.com

《中国癌症杂志》编辑部