二维超声联合甲状腺细胞病理学Bethesda报告系统可有效预测超声引导下甲状腺射频消融结节吸收率

宋 颖,都晓英,李 阳,宁 艳,杜 欢,程子璇
蚌埠医科大学第一附属医院超声医学科,安徽 蚌埠 233004

摘要:目的 构建基于二维超声及BSRTC分级的术前预测模型,评估其对甲状腺射频消融术(RFA)术后12个月内结节完全吸收的预测价值。**方法** 回顾性分析2022年1月~2024年6月于蚌埠医科大学第一附属医院接受RFA治疗的112例患者(共131枚结节)的术前资料(性别、年龄、结节初始体积、内部成分、C-TIRADS等)及术后1、3、6、12个月的结节体积变化率(VRR1、VRR3、VRR6、VRR12)。根据术后12个月内是否达到100% VRR将结节分为完全吸收组(n=33)和未完全吸收组(n=98)。采用logistic回归分析筛选影响吸收的独立因素,构建预测模型;通过列线图可视化模型,利用Hosmer-Lemeshow检验、校准曲线(Bootstrap验证)、ROC曲线及决策曲线分析评估模型性能。**结果** 单因素分析显示,C-TIRADS分类、BSRTC分级和结节初始体积与吸收时间显著相关(P<0.05)。Logistic回归分析证实C-TIRADS 4b级、4c级,BSRTC V类、VI类以及初始体积是吸收不全的独立危险因素(P<0.05)。联合构建的预测模型拟合良好(Hosmer-Lemeshow检验P=0.933),校准曲线显示预测准确性良好,ROC曲线分析显示模型区分能力强(AUC=0.854),决策曲线分析表明模型具有较好的临床实用价值。**结论** 联合C-TIRADS、结节初始体积及BSRTC分级构建的预测模型具有良好的预测效能,有助于精准预测RFA术后结节吸收情况,优化临床管理策略。

关键词:超声引导;甲状腺射频消融;甲状腺结节;C-TIRADS;BSRTC;射频消融术预后;结节吸收率

Two-dimensional ultrasound combined with the Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology effectively predicts the nodule absorption rate after ultrasound-guided thyroid radiofrequency ablation

SONG Ying, DU Xiaoying, LI Yang, NING Yan, DU Huan, CHENG Zixuan
Department of Ultrasound, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu 233004, China

Abstract: Objective To develop a preoperative prediction model based on two-dimensional ultrasound and The Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology (BSRTC) categories, and to evaluate its predictive value for complete nodule absorption within 12 months after radiofrequency ablation (RFA). **Methods** Preoperative data from 112 patients with 131 nodules who underwent RFA in the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College from January 2022 to June 2024 were retrospectively analyzed. The variables included gender, age, initial nodule volume, internal composition, and the Chinese Thyroid Imaging Reporting and Data System (C-TIRADS) category. The volume reduction ratios at 1, 3, 6, 12 months after RFA were also assessed and recorded as VRR1, VRR3, VRR6, and VRR12, respectively. According to whether 100% VRR was achieved within 12 months after RFA, the nodules were divided into a complete absorption group (n=33) and an incomplete absorption group (n=98). Logistic regression analysis was performed to identify independent factors associated with absorption, and a prediction model was constructed accordingly. The model was visualized using a nomogram, and its performance was evaluated using the Hosmer-Lemeshow test, calibration curves with bootstrap validation, ROC curve analysis, and decision curve analysis. **Results** Univariate analysis showed that C-TIRADS category, BSRTC category, and initial nodule volume were significantly associated with absorption time (P<0.05). Logistic regression analysis confirmed that C-TIRADS categories 4b and 4c, BSRTC categories V and VI, and initial nodule volume were independent risk factors for incomplete absorption (P<0.05). The combined prediction model showed good model fit (Hosmer-Lemeshow test P=0.933). The calibration curve demonstrated good predictive accuracy, and ROC curve analysis showed strong discriminatory ability, with an AUC of 0.854. Decision curve analysis indicated that the model had good clinical utility. **Conclusion** The prediction model incorporating C-TIRADS category, initial nodule volume, and BSRTC category demonstrated good predictive performance. This model may help accurately predict nodule absorption after RFA and optimize clinical management strategies.

Keywords: ultrasound guidance; thyroid radiofrequency ablation; thyroid nodule; C-TIRADS; BSRTC; radiofrequency ablation prognosis; nodule absorption rate

甲状腺射频消融术(RFA)是一种通过电极施加射频能量,使目标组织凝固坏死的技术[1],因其微创、安全、有效等优势,目前已广泛应用于良性甲状腺结节及低危甲状腺微小乳头状癌的临床治疗中[2-4]。但RFA术后甲状腺结节(TN)的吸收速度存在着明显的不确定性,部分患者术后TN吸收缓慢,压迫症状改善不佳,易引发焦虑情绪,甚至增加二次手术风险[5]。此外,RFA术后TN的早期吸收状态也预示着远期预后,明确关键随访节点,有利于个体化评估预后。

收稿日期:2025-12-09
基金项目:安徽省高等学校科学研究重点项目(2022AH051420);蚌埠医学院自然科学重点项目(2022byzd047)
作者简介:宋 颖,硕士,住院医师,E-mail: 494183707@qq.com
通信作者:都晓英,硕士,副主任医师,E-mail: duduclara@163.com

研究显示，RFA术后病灶体积吸收率（VRR）与目标TN的大小、成分、血流情况、钙化情况以及内部细胞构成等因素相关[6-10]，然而这些指标的预测效能往往较为局限且缺乏统一的量化标准。甲状腺影像报告和数据系统（中国版）[11]（C-TIRADS）和Bethesda报告系统[12]（BSRTC）作为目前临床广泛应用的TN风险分层系统，整合了多项关键的二维超声及TN细胞学的特征，蕴含着预测RFA术后TN转归的潜在价值。本研究以术前二维超声及BSRTC分级为核心，构建RFA术后12个月内TN完全吸收的术前预测模型，同时动态追踪术后1、3、6、12个月结节体积变化率，分析TN吸收的关键时间节点，旨在为术前筛选适宜RFA治疗的患者提供依据，同时为选择行RFA治疗者术后随访策略的个体化调整提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集2022年1月~2024年6月于蚌埠医科大学第一附属医院接受RFA治疗TN的患者112例（共计131枚结节）。纳入标准：C-TIRADS分类≥3类；Bethesda分级≥II者；术后完成声造影者；无甲状腺炎症背景者；肿瘤未出现侵犯及转移者。排除标准：血常规及凝血功能异常者；有既往甲状腺治疗史者；患者拒绝随访或失访；患者配合度差。本研究经蚌埠医科大学第一附属医院伦理委员会审批（审批号：伦科批字[2023]383号），患者均签署知情同意书。

1.2 RFA术前资料

1.2.1 二维超声 采用富士ARIETTA 70超声诊断仪（探头频率5.0~12.0 MHz）对患者甲状腺进行常规超声扫查。嘱患者头部后仰暴露颈前区，涂抹耦合剂，将探头置于颈前区扫查，观察TN的位置、大小、体积、回声、形态、边界、钙化以及血流等情况，结节体积计算公式：π/6×前后径×左右径×上下径。由2位超声科医生（工作时间≥5年）独立进行操作，并判定C-TIRADS分类结果；意见不统一时，共同商讨确定最终结果。参照C-TIRADS分类标准[11]进行分类：C-RIRADS结节的恶性特征包括实性、极低回声、微钙化、垂直位、边缘模糊、边缘不规则或甲状腺外侵犯；良性特征包括彗星尾伪像。根据上述TN征象进行打分，恶性征象加1分、良性征象减1分，获取各TN的术前C-TIRADS分级情况。

1.2.2 甲状腺细针穿刺 完善术前检查及术前谈话，排除禁忌证，签署知情同意书后，嘱患者取仰卧位，头部过伸充分暴露颈部，根据目标TN制定适宜的穿刺路径，常规进行消毒铺巾流程。由具有10年穿刺经验的超声介入医师使用穿刺针，对TN可疑区域进行多角度重复抽吸，将抽吸细胞液立即涂抹于2张载玻片上，迅速浸泡于95%的乙醇中进行细胞阻滞处理[13]。按照2023年BSRTC进行分类，将FNA结果总结为6类：II类（良性）：细胞形态正常，恶性风险极低（<3%）；III类（意义不明确）：细胞轻度异常，难以定性，恶性风险低-中（10%~30%）；IV类（滤泡性肿瘤）：细胞丰富且排列异常，恶性风险中-高（25%~40%）；V类（可疑恶性）：细胞呈现较多恶性特征，恶性风险高（50%~75%）；VI类（恶性）：细胞学明确为癌，恶性风险>95%；I类（无法诊断）：标本不合格，需重复穿刺，本研究已排除。

1.3 RFA术中

所有RFA均由同一位具有10年经验的超声介入医师完成，术前准备及体位同FNA，常规消毒、铺巾、麻醉后，用生理盐水、利多卡因及肾上腺素混合液注射“液体隔离带”分离出目标区域，以保护周围组织。消融过程采用赛诺微医疗SNW射频发生器及适配射频针，功率25~40 W，将电极针按适宜路径置于目标结节内，由深及浅逐步进行移动式消融，观察消融产生的强回声区域，直至其完全覆盖目标结节且超过病灶边缘至少2 mm后，使用超声造影剂六氟化硫（SonoVue）进行超声造影，确认目标区域无造影剂填充，避免因消融不完全对结果产生影响，术中结节（图1）。消融术后予以压迫、冰敷等操作，同时嘱患者术后1、3、6、12个月进行甲状腺超声检查[4]。

1.4 RFA术后

采用富士ARIETTA 70超声诊断仪（探头频率5.0~

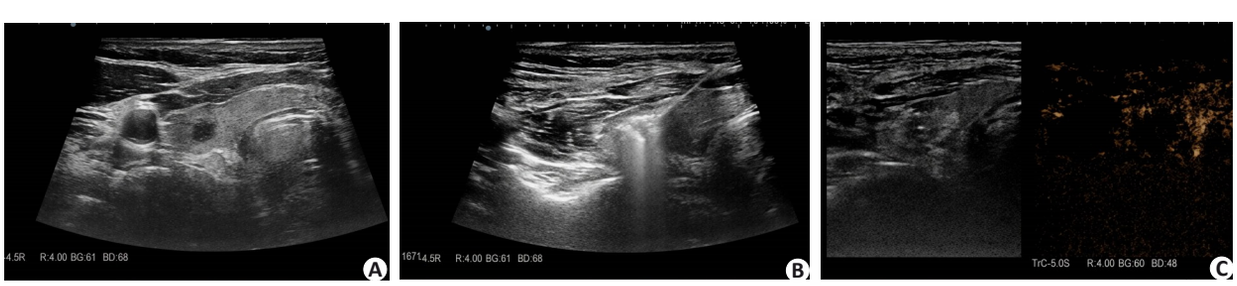

图1 甲状腺射频消融手术流程

Fig.1 Flowchart of thyroid radiofrequency ablation (RFA) procedure. The picture showed an RFA schematic diagram with a shallow layer about 1.5cm away from the skin. **A**: The preoperative ultrasound scanning information of thyroid nodules; **B:** The images during RFA, showing that the strong echo area generated by ablation completely covers the nodules; **C:** The contrast process after RFA, and no contrast agent is filled in the nodules at all.

12.0 MHz)收集RFA术后患者1、3、6、12月的结节大小、体积、回声、血流、有无新生结节以及并发症等情况，计算VRR。VRR公式：VRR=(治疗前体积-随访时体积)/治疗前体积×100%。将对术前收集的患者信息、结节二维超声信息及BSRTC结果进行分组划分。根据12个月内是否达到100% VRR分为完全吸收组和未完全吸收组。对于RFA患者的术前结节体积分组及年龄分组等，目前仍缺乏适用的分类共识，且本研究数据整体呈现偏态分布，为将其纳入分类分析框架并避免研究者主观因素影响，本研究基于样本分布中位数进行分组处理。

1.5 统计学分析

采用SPSS 26.0和R4.5.0统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量数据以均数±标准差表示，不符合正态分布的计量资料以中位数(上下四分位数)表示并进行非参数检验；计数资料以*n*(%)表示并进行卡方检验或Fisher确切概率法分析。各时间点VRR组间效应、时间效应及两者的交互效应采用广义估计方程分析，估计值以均数±标准误表示。采用logistic回归分析的筛选结节吸收良好的独立影响因素并构建预测模型。采用列线图对预测模型进行可视化呈现，通过Hosmer-Lemeshow检验评估模型拟合度，经1000次重复Bootstrap验证的校准曲线检验模型预测准确性，利用ROC曲线计算曲线下面积(AUC)、敏感度及特异度以评价模型区分能力，通过决策曲线分析模型的临床实用价值。以$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者临床特征及随访结果

患者年龄为43.6±12.4岁，其中男性占比22.9%，女性占比77.1%。患者二维超声信息及临床特征(表1)。

对结节术后1、3、6、12月体积情况进行随访，VVR中位数变化情况分别为：-133%、27.3%、73.3%、95.9%(表2)，共计33枚结节于12月内达到100%VRR。TN体积和VRR在RFA前和RFA后均发生变化，术后短期内VRR呈负值，但整体呈现缩小趋势。

表1 入组患者信息及临床特征

Tab.1 Baseline patient demographics and clinical characteristics

Characteristics	Value
Gender [*n*(%)]	
Male	30(22.9)
Female	101(77.1)
Age (year, *Mean*±*SD*)	43.6±12.4
Position [*n*(%)]	
Thyroid isthmus	1(0.8)
Right lobe	65(49.6)
Left lobe	65(49.6)
Initial volume [mL, $M(P_{25}, P_{75})$]	0.095(0.028, 0.408)
C-TIRADS [*n*(%)]	
3	41(31.3)
4a	28(21.4)
4b	28(21.4)
4c	34(26.0)
BSRTC [*n*(%)]	
II	35(26.72)
III	39(29.8)
V	29(22.1)
VI	28(21.4)

C-TIRADS: Chinese Thyroid Imaging Reporting and Data System; BSRTC: The Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology.

2.2 结节体积随时间变化的动态轨迹

完全吸收组(n=33)与未完全吸收组(n=98)的VRR在术后1、3、6、12个月的比较结果显示，VRR100%分组在VRR1(P=0.267)、VRR3(P=0.545)时差异无统计学意义(P>0.05)，仅VRR6组间差异有统计学意义(P<0.001)。整体组间效应的差异无统计学意义(P=0.760)。两组内不同时间点(VRR1→VRR3→VRR6)的VRR值的差异均有统计学意义(P<0.001)，且两组VRR值均呈逐步上升趋势。时间与组间无交互作用(P=0.076)，两组VRR 100%分组随时间的变化趋势一致(表3)。

2.3 影响术后12个月吸收情况的单因素分析

单因素分析结果显示，结节初始体积、C-TIRADS、BSRTC与吸收时间相关(P<0.001，表4)。

表2 RFA后结节随访期间体积的变化

Tab.2 Changes in nodule volume during the follow-up period after RFA [$M(P_{25}, P_{75})$]

Follow-up time after RFA	Volume (mL)	VRR (%)
Baseline	0.095(0.028,0.408)	-
1st month	0.312(0.151,0.697)	-133.019(-352.941,-16.578)
3rd month	0.140(0.034,0.306)	27.266(-70.930,56.410)
6th month	0.028(0.008,0.151)	73.696(50.000,87.372)
12th month	0.005(0.000,0.040)	95.918(88.235,100.000)
P	<0.001	<0.001

RFA: Radiofrequency ablation.

表3 不同时间点VRR差异分析

Tab.3 Comparative analysis of VRR at different time points (*Mean*±*SE*)

VRR100% group	VRR1	VRR3	VRR6	Wald χ^2	*P*
Incomplete absorption group (*n*=98)	-279.37±51.15	-64.32±22.95	36.75±12.54	57.999	<0.001
Complete absorption group (*n*=33)	-395.10±90.85	-40.44±32.06	84.00±2.77	29.898	<0.001
Wald χ^2	1.232	0.367	13.527		
P	0.267	0.545	<0.001		
Intergroup effect			Wald χ^2=0.93, *P*=0.760		
Time effect			Wald χ^2=63.388, *P*<0.001		
Time*interactions between groups			Wald χ^2=5.149, *P*=0.076		

Incomplete absorption group: VRR100%>12 months; Complete absorption group: VRR100%≤12 months; VRR1: the volume reduction rate at the 1-month postoperative follow-up; VRR3: the volume reduction rate at the 3-month postoperative follow-up; VRR6: the volume reduction rate at the 6-month postoperative follow-up.

表4 RFA治疗甲状腺术后吸收率的单因素分析

Tab.4 Univariate analysis of factors associated with nodule absorption rate after RFA [*n*(%)]

Index	Incomplete absorption group (*n*=98)	Complete absorption group (*n*=33)	*P*
Gender			0.832
Male	22 (73.3)	8 (26.7)	
Female	76 (75.2)	25 (24.8)	
Age (year)			0.721
<43	54 (76.1)	17 (23.9)	
≥43	44 (73.3)	16 (27.7)	
C-TIRADS			<0.001
3	22 (53.7)	19 (46.3)	
4a	19 (67.9)	9(32.1)	
4b	26 (92.9)	2(7.1)	
4c	31 (91.2)	3 (8.8)	
BSRTC			<0.001
Ⅱ	21 (60.0)	14 (40.0)	
Ⅲ	26 (66.7)	13 (33.3)	
Ⅴ	25 (86.2)	4(13.8)	
Ⅵ	26 (92.9)	2 (7.1)	
Initial volume (mL)			<0.001
<0.095	39 (60.0)	26(40.0)	
≥0.095	59 (89.4)	7 (10.6)	

2.4 Logistic回归分析及二维超声联合BSRTC的预测价值

以结节吸收情况为因变量(完全吸收=1,未完全吸收=0),C-TIRADS分级、BSRTC分级及结节初始体积为自变量行logistic回归分析,结果显示C-TIRADS分级整体差异有统计学意义(*P*=0.024),以3级为参照,4a级差异无统计学意义(*P*=0.847)。而4b级(*P*=0.045)、4c级(*P*=0.022)完全吸收概率低于3级;BSRTC分类整体差异有统计学意义(*P*=0.023),以II类为参照,III类差异无统计学意义(*P*=0.266)。而V类(*P*=0.005)、VI类(*P*=0.022)完全吸收概率低于II类;初始体积为独立保护因素(*P*=0.001),体积增大时完全吸收概率降低(表5)。

2.5 建立结节吸收情况的预测模型

根据logistic回归方程的结果,以C-TIRADS 3级、BSRTC II类为参照,引入哑变量,C-TIRADS哑变量:X_1=4a级,X_2=4b级,X_3=4c;BSRTC哑变量:X_4=III类,X_5=V类,X_6=VI类;X_7=初始体积;设Y=ln[P/(1-P)](P为完全吸收概率),建立模型方程:$Y=1.435-0.137X_1-1.873X_2-1.836X3-0.716X_4-2.815X_5-1.892X_6-1.928X_7$。

表5 Logistic回归分析结果
Tab.5 Logistic regression analysis.

Index	B	SE	*P*	OR [Exp(B)]	95% *CI* for OR
C-TIRADS	-	-	0.024	-	-
4a	-0.137	0.708	0.847	0.872	0.218-3.493
4b	-1.873	0.934	0.045	0.154	0.025-0.959
4c	-1.836	0.805	0.022	0.159	0.033-0.771
BSRTC	-	-	0.023	-	-
III	-0.716	0.644	0.266	0.489	0.138-1.726
VI	-1.892	0.828	0.022	0.151	0.030-0.764
V	-2.815	0.995	0.005	0.060	0.009-0.421
Initial volume	-1.928	0.607	0.001	0.145	0.044-0.478
Constant	1.435	0.595	0.016	4.198	-

2.6 模型可视化及性能验证

根据构建的模型绘制术后TN完全吸收预测模型列线图(图2A),通过C-TIRADS分级、BSRTC分类及初始体积的分值累加可预测结节完全吸收的风险;Hosmer-Lemeshow检验结果显示模型拟合良好(χ^2=2.423,*P*=0.933);校准曲线结果显示经Bootstrap验证(1000次重复)后与理想线平均绝对误差0.024,模型预测准确性良好(图2B);ROC曲线结果显示AUC=0.854(95% *CI*: 0.777~0.931),敏感度为0.878,特异度为0.727,高于单一指标C-TIRADS(0.738,95% *CI*:0.645~0.830)、BSRTC(0.692,95% *CI*:0.598~0.786)及初始体积(0.695,95% *CI*: 0.609~0.781),区分能力较强(图2C);决策曲线分析结果显示在高风险阈值(0~0.8)区间内,该模型的净获益高于"全判定未吸收不全或完全"的策略,具备较好临床实用价值(图2D)。

3 讨论

目前RFA在临床TN的治疗中得到了广泛应用,但其术后的不确定性仍是当前临床痛点。既往研究多围绕TN大小、内部构成、钙化等单一指标,缺乏统一的量化标准[6, 8, 14, 15],不利于临床应用及转化。本研究通过对RFA术后TN进行12个月的随访,证实了C-TIRADS、BSRTC和TN初始体积是预测RFA术后吸收率的潜在指标,基于三者建立的模型具有较好的预测能力,有益于综合考虑患者RFA术后结节吸收情况,减少二次手术风险。此外,本研究动态分析了结节术后1、3、6、12月的结节体积变化情况,寻找到术后预测TN远期吸收情况的关键节点,有利于对RFA术后患者进行个体化随访。目前对于TN的RFA术后结节吸收情况分组仍缺乏统一标准,本研究综合以下几点确定分组依据:首先,既往Meta分析显示,术后12个月内是TN体积的快速变化期,而在此后的体积变化则趋于平缓,进入相对稳定阶段,因此以术后第12月作为评估节点可有效反映TN吸收差异[16, 17];其次在程度界定上,100%VRR是患者视角中最为直观的"治疗成功"标志,也是患者选择行RFA治疗的最主要目的。同时在既往研究中也应用此分类依据[9, 18],有助于聚焦对RFA术后吸收情况反应最为彻底的群体。本研究中RFA术后结节体积整体呈现逐渐缩小趋势,而术后短期内VRR呈现的负值状态与RFA术中对目标结节进行扩大消融及结节术后无菌性炎症反应、周围组织水肿等有关[4, 19]。

本研究结果显示结节体积的大小是影响VRR的关键因素,与既往研究[14, 20]一致,证实了其普适性。但既往一项基于85例良性结节RFA术后随访的研究指出,对于最大径处于0~4 cm范围内的良性结节,其术后6~36个月的VRR差异无统计学意义[15],此结果与本研究并不相符,其原因可能与本研究纳入的31枚囊实性结节有关,而既往研究中85枚结节均为实性结节,致使研究结果不符。RFA术后结节的溶解吸收依赖于体内的免疫反应,初始体积较大的结节,其消融范围也较大,RFA术后坏死的组织较多,更不易被巨噬细胞等免疫细胞吞噬清除,其术后结节吸收时间相对更久。较大体积的结节往往具有更大的血流供应,可因热沉效应造成手术过程中的热量损失,从而影响其疗效及术后体积吸收[21]。

C-TIRADS分级整合了TN的内部结构、回声、形态、边缘、钙化等情况。既往研究表明,目标结节的囊实性情况、钙化情况、血供情况、内部回声等对RFA术后吸收快慢有一定影响:完全实性的结节其细胞成分多、结构较为致密;钙化的存在阻碍了热能的均匀传导;血供丰富的结节会通过热沉效应带走大量的消融能量,增加消融不彻底风险。而涵盖了上述诸多因素的C-TIRADS高评分结节,细胞排布较为紧密,间质成分及血管结构较为复杂,术后的坏死组织较C-TIRADS分级低者更为致密,整体吸收也就更为缓慢[22, 23]。BSRTC是目前国际通用的甲状腺细针穿刺细胞学诊断报告标准,更加强调细

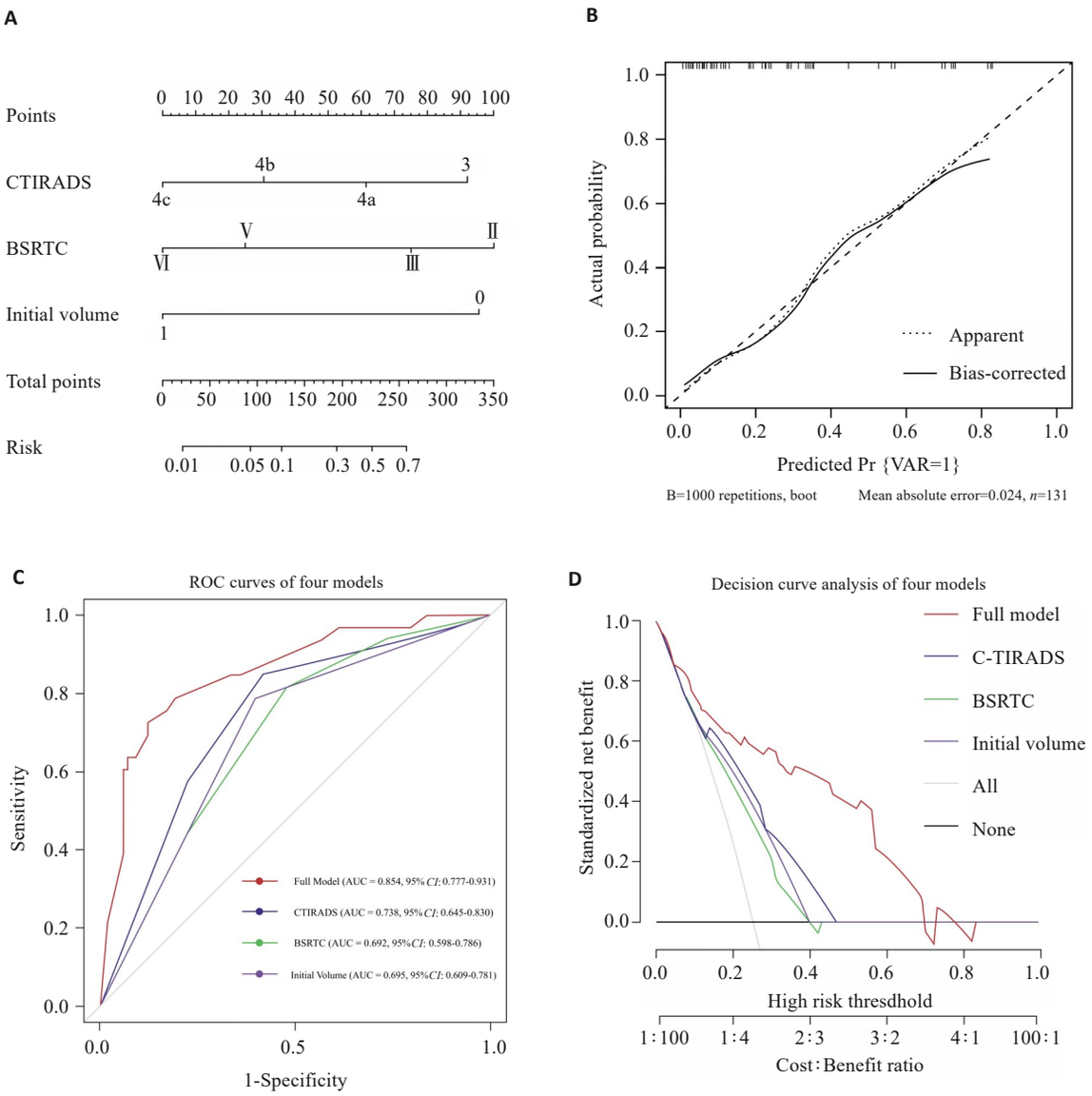

图2 预测模型列线图及性能评估

Fig.2 The nomogram of the predictive model and its performance evaluation. **A:** Nomogram; **B:** Calibration curve; **C:** ROC curve; **D:** Decision curve analysis diagram.

胞病理学特征[24]。本研究主要对BSRTC Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅴ类、Ⅵ类结节的RFA术后吸收率进行了对比研究，结果显示BSRTC Ⅱ类与BSRTC Ⅲ类结节有类似的吸收情况，整体术后吸收情况优于BSRTC Ⅴ类与BSRTC Ⅵ类结节，这与既往研究[9,25]一致。但本研究因病例不足未纳入BSRTC Ⅳ类结节，可能影响模型的普适性。以上不同BSRTC分级对VRR的影响可能与各类结节不同的细胞构成有关，BSRTC Ⅴ、Ⅵ类结节细胞密度较高，纤维间质较为丰富[26]，机体需要更长时间启动免疫清除及修复过程。

本研究构建并验证了一个基于超声联合细胞病理学的评估框架预测模型，提高了RFA术前评估的全面性。二维超声和BSRTC分级则分别从TN的宏观超声表现与微观细胞学特征层面提供了不可或缺的预测信息。二者联合应用有利于实现各自的优势互补，显著提升了对RFA术后结节吸收率预测的精准度与可靠性。同时在结节早期随访过程中，根据结节早期VRR变化可对结节后续吸收情况提供参考，有益于使预后措施的制定及完善更加个体化。然而本研究仍存在局限性：作为一项单中心回顾性研究，选择偏倚及有限的样本量可能会影响模型的稳定性，且RFA术后随访仅12个月，TN远期转归仍待探究；对于对初始结节体积分组等偏态连续变量，本研究采用了中位数二分类法将其转化为分类变量，这一处理可能掩盖了变量与结局之间潜在的非线性关系；TN射频术中消融参数未收集纳入，也可能成为潜在的混杂因素，以及尚缺乏外部验证，本模型需要在多中心大样本中进一步验证以提高泛化能力。

综上，联合C-TIRADS分级、结节初始体积及BSRTC分级构建的预测模型具有良好的拟合度和判别力，可帮助术前筛选适宜患者。同时对于接受RFA治

疗的患者，术后第6个月可作为预测结节12个月内是否完全吸收的重要观察窗口，有利于指导临床随访计划并及早干预。未来将开展大样本的前瞻性研究，同时延长随访时间，并致力于确立此类具有广泛临床意义的体积截断点，同时纳入消融参数等因素，实现RFA治疗预后的精准化。

参考文献：

[1] Strand NH, Hagedorn JM, Dunn T, et al. Advances in radiofrequency ablation: mechanism of action and technology[J]. Ann Palliat Med, 2024, 13(4): 1028-34.

[2] Bo XW, Lu F, Xu HX, et al. Thermal ablation of benign thyroid nodules and papillary thyroid microcarcinoma[J]. Front Oncol, 2020, 10: 580431.

[3] Hu Y, Zhou W, Xu SY, et al. Thermal ablation for the treatment of malignant thyroid nodules: present and future[J]. Int J Hyperth, 2024, 41(1): 2379983.

[4] Society of Tumor Ablation Therapy of the Chinese Anti-Cancer Association, Ablation Expert Committee of the Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO), Chinese Medical Doctor Association College of Interventionalists Tumor Ablation Committee, et al. Expert consensus on thermal ablation of papillary thyroid cancer (2024 edition)[J]. Chin J Intern Med, 2024, 63(4): 355-64.

[5] Han ZY, Dou JP, Zheng L, et al. Chinese guidelines for ultrasound-guided thermal ablation of thyroid nodules (2024 edition)[J]. Int J Surg, 2025, 111(2): 1699-710.

[6] Dong YJ, Zhan WW, Zhou JQ, et al. Volume reduction rate of radiofrequency ablation in≤2 cm Bethesda IV thyroid nodules[J]. Eur Radiol, 2024, 34(3): 1597-604.

[7] Orloff LA, Noel JE, Stack BC Jr, et al. Radiofrequency ablation and related ultrasound-guided ablation technologies for treatment of benign and malignant thyroid disease: an international multidisciplinary consensus statement of the American Head and Neck Society Endocrine Surgery Section with the Asia Pacific Society of Thyroid Surgery, Associazione Medici Endocrinologi, British Association of Endocrine and Thyroid Surgeons, European Thyroid Association, Italian Society of Endocrine Surgery Units, Korean Society of Thyroid Radiology, Latin American Thyroid Society, and Thyroid Nodules Therapies Association[J]. Head Neck, 2022, 44(3): 633-60.

[8] Park SI, Baek JH, Lee DH, et al. Radiofrequency ablation for the treatment of benign thyroid nodules: 10-year experience[J]. Thyroid®, 2024, 34(8): 990-8.

[9] 贾筱夏, 常 莹, 侯文颖, 等. 超声引导下射频消融治疗甲状腺微小乳头状癌术后吸收率的影响因素分析[J]. 首都医科大学学报, 2023, 44(6): 941-7.

[10] Liu LH, Yang BB, Liu Y, et al. Factors related to the absorption rate of benign thyroid nodules after image-guided microwave ablation: a 3-year follow-up[J]. Int J Hyperth, 2022, 39(1): 8-14.

[11] 中华医学会超声医学分会浅表器官和血管学组, 中国甲状腺与乳腺超声人工智能联盟. 2020甲状腺结节超声恶性危险分层中国指南: C-TIRADS[J]. 中华超声影像学杂志, 2021, 30(3): 185-200.

[12] Ali SZ, Baloch ZW, Cochand-Priollet B, et al. The 2023 Bethesda system for reporting thyroid cytopathology[J]. Thyroid. 2023, 33 (9):1039-44.

[13] Cibas ES, Ali SZ. The 2017 Bethesda system for reporting thyroid cytopathology[J]. Thyroid®, 2017, 27(11): 1341-6.

[14] Cesareo R, Naciu AM, Iozzino M, et al. Nodule size as predictive factor of efficacy of radiofrequency ablation in treating autonomously functioning thyroid nodules[J]. Int J Hyperth, 2018, 34(5): 617-23.

[15] 孙梦锦, 李 潜, 牛金灵, 等. 超声引导下射频消融对不同大小甲状腺良性结节的疗效研究[J]. 中国超声医学杂志, 2023, 39(2): 134-7.

[16] Lim H, Cho SJ, Baek JH. Comparative efficacy and safety of radiofrequency ablation and microwave ablation in benign thyroid nodule treatment: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2025, 35(2): 612-23.

[17] Nguyen VB, Le TB, Le Van C. Single-session radiofrequency ablation for the treatment of benign cystic thyroid nodules: a prospective study[J]. PLoS One, 2026, 21(2): e0341556.

[18] Gao XM, Yang Y, Wang YT, et al. Efficacy and safety of ultrasound-guided radiofrequency, microwave and laser ablation for the treatment of T1N0M0 papillary thyroid carcinoma on a large scale: a systematic review and meta-analysis[J]. Int J Hyperth, 2023, 40(1): 2244713.

[19] 陈 凤. 糜蛋白酶在粘稠囊性甲状腺结节治疗中的应用[D]. 芜湖: 皖南医学院, 2025.

[20] Li ZL, Nie W, Liu QF, et al. A prognostic model for thermal ablation of benign thyroid nodules based on interpretable machine learning [J]. Front Endocrinol, 2024, 15: 1433192.

[21] Fung MHM, Luk Y, Lang BHH. Single-session radiofrequency ablation versus microwave ablation of predominantly solid benign thyroid nodules: a comparison after propensity score matching for initial nodule volumes and diameters[J]. Eur Radiol, 2026, 36(3): 1783-96.

[22] 王丽佳, 于明安, 曹时亮, 等. 基于常规超声及超声造影表现分析热消融治疗后甲状腺良性结节体积缩小率的影响因素[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025, 22(5): 319-23.

[23] Deandrea M, Garino F, Alberto M, et al. Radiofrequency ablation for benign thyroid nodules according to different ultrasound features: an Italian multicentre prospective study[J]. Eur J Endocrinol, 2019, 180(1): 79-87.

[24] Avior G, Dagan O, Shochat I, et al. Outcomes of the Bethesda system for reporting thyroid cytopathology: Real-life experience[J]. Clin Endocrinol, 2021, 94(3): 521-7.

[25] Issa PP, Omar M, Issa CP, et al. Radiofrequency ablation of indeterminate thyroid nodules: the first North American comparative analysis[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(19): 11493.

[26] 潘傲楠, 张 洋, 高璐滢, 等. 细胞学、细胞块及二者联合对于甲状腺乳头状微小癌诊断效能比较[J]. 中国医药导报, 2025, 22(6): 160-4.

（编辑：林 萍）