

CT影像组学对前纵隔小结节的诊断价值

王兆丰, 艾江山, 高会江, 石国栋, 刘林, 赵连政, 魏煜程*

青岛大学附属医院胸外科, 山东 青岛

收稿日期: 2024年4月19日; 录用日期: 2024年5月12日; 发布日期: 2024年5月20日

摘要

目的: 评估从胸部增强CT图像中提取的影像组学特征对胸腺上皮源性肿瘤和囊肿的鉴别能力, 建立诺模图协助诊断前纵隔小结节的病理性质。方法: 回顾性分析2019年1月至2022年12月在青岛大学附属医院因前纵隔小结节而接受手术治疗的患者, 并分为胸腺上皮源性肿瘤与囊肿性病变两组。从术前胸部增强CT的动脉期与静脉期图像中分别提取病灶的影像组学特征进行筛选和降维后构建影像组学得分(Rad-score), 结合临床与影像形态学特征共同进行单因素与多因素分析。以多因素Logistic回归有意义的独立预测因子构建诊断模型及对应列线图。通过受试者工作特征曲(ROC)、校准曲线及决策曲线分析(DCA)对列线图的诊断能力进行评估。结果: 共244例患者纳入本研究, 其中TET 89例, 囊肿性病变155例。多因素回归结果显示结节有无强化、结节形状及Rad-score是病理性质的独立预测因子。基于这些因素构建的列线图在训练集(AUC 0.95)和测试集(AUC 0.86)上均显示出较好的诊断效能, 校准曲线和DCA显示了列线图较好的诊断准确性和临床应用价值。结论: 通过影像组学特征构建并验证了一个前纵隔小结节诊断列线图, 作为一种无创诊断工具可以比较准确地地区分胸腺上皮性肿瘤和囊肿性病变。

关键词

前纵隔肿瘤, 胸腺上皮源性肿瘤, 影像组学, 计算机断层扫描

The Diagnostic Value of CT Radiomics in Small Anterior Mediastinal Nodules

Zhaofeng Wang, Jiangshan Ai, Huijiang Gao, Guodong Shi, Lin Liu, Lianzheng Zhao, Yucheng Wei*

Department of Thoracic Surgery, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Apr. 19th, 2024; accepted: May 12th, 2024; published: May 20th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 王兆丰, 艾江山, 高会江, 石国栋, 刘林, 赵连政, 魏煜程. CT 影像组学对前纵隔小结节的诊断价值[J]. 临床医学进展, 2024, 14(5): 1132-1144. DOI: 10.12677/acm.2024.1451535

Abstract

Objectives: The aim of this study is to assess the efficacy of radiomics features extracted from contrast-enhanced chest CT scans in distinguishing between TET (Thymic Epithelial Tumors) and cystic lesions, as well as establishing a nomogram to aid in diagnosing the pathological properties of SMAN (Small Anterior Mediastinal Nodules). **Methods:** A retrospective analysis was conducted on patients who underwent surgical treatment for SAMN at the Affiliated Hospital of Qingdao University from January 2019 to December 2022. The patients were divided into two groups: TET and cystic lesions. The radiomics features of the nodules were extracted from arterial phase and venous phase images obtained through enhanced chest CT scans prior to surgery. After feature screening and dimensionality reduction, a Rad-score was constructed. Univariable and multivariable analyses were performed in conjunction with clinical, radiologic characteristics and Rad-score. An independent predictor-based multifactor Logistic regression model was developed along with a corresponding nomogram for diagnosis. The diagnostic ability of the nomogram was assessed using receiver operating characteristic curves (ROC), calibration curves, and decision curve analysis (DCA). **Results:** A total of 244 patients were included in this study, including 89 TETs and 155 cystic lesions. The results of multivariable regression analysis demonstrated that enhancement, shape, and Rad-score were independent predictors of the pathological nature of nodules. The nomogram constructed based on these factors exhibited superior diagnostic performance in both the training set (AUC 0.95) and the test set (AUC 0.86). Furthermore, the calibration curve and decision curve analysis (DCA) revealed enhanced diagnostic accuracy and clinical applicability of the nomogram. **Conclusion:** Based on radiomics features, a diagnostic nomogram of SAMN was constructed and validated, which can be used as a noninvasive diagnostic tool to accurately distinguish TET from cystic lesions.

Keywords

Anterior Mediastinal Mass, Thymic Epithelial Tumors, Radiomics, Computed Tomography

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

前纵隔小结节,指发生于前纵隔的直径小于3 cm的软组织密度占位性病变[1],其既有可能是胸腺上皮源性肿瘤(Thymic Epithelial Tumors, TET)等恶性病变,也有可能是囊肿等良性病变。近年来胸部CT筛查的普及使得前纵隔小结节的检出率进一步提高[2],但对于其处理方法还存在不小争议。《外科学(第8版)》对于纵隔肿瘤的治疗中建议,由于其存在增大后压迫周围器官和大血管的可能,故无论纵隔肿瘤良恶性,发现后均应手术治疗[3],这类治疗方案使得针对胸腺及周围组织的非治疗性手术占比达27.8%~43.8% [4] [5]。根据一项基于多中心国际影像数据库的研究发现,良性囊肿是我国最常见的纵隔肿瘤[6],而大部分纵隔囊肿在定期随访过程中保持稳定[7],所以对于前纵隔小囊肿,或许可以给予随访观察而不是手术治疗,这就对术前诊断提出了更高的要求。胸部对比增强CT(Contrast-Enhanced Computed Tomography, CECT)作为纵隔占位最常用的检查之一,对于TET有较高的敏感性[8] [9],但对于分辨囊肿与TET,尤其是直径较小的前纵隔小结节时存在一定的误诊率,且结果完全依赖于放射科医生的主观判断。影像组学作为一种新型的研究方法,在胸部肿瘤诊断中已有广泛应用[10] [11],但用于区分前纵隔小

结节病理性质的研究鲜有报道。本研究目的是通过前纵隔小结节患者临床特征及术前胸部增强 CT 的影像组学特征建立诊断模型, 辅助预测前纵隔小结节的病理性质, 以指导治疗方法。

2. 资料与方法

2.1. 临床资料

本研究为回顾性研究, 选取 2019 年 1 月至 2022 年 12 月在青岛大学附属医院因纵隔肿物行纵隔病损切除术的患者。本研究将前纵隔小结节定义为出现于前纵隔区域的直径 ≤ 3 cm 的软组织密度占位性病变[1]。纳入标准: ① 术前检查证实存在前纵隔小结节; ② 病灶经手术切除并获得完整病理标本; ③ 临床信息及手术记录齐全。排除标准: ① 术前 CECT 影像学资料不全或质量不佳; ② 既往接受过穿刺活检或新辅助治疗; ③ 病理结果非 TET 或囊肿性病变。经过筛选后的患者根据术后病理性质分为 TET (包括胸腺瘤、胸腺癌及胸腺神经内分泌肿瘤)和囊肿性病变两组。并按照 7:3 的比例将患者随机分配到训练集和测试集, 患者筛选过程见图 1。本研究经过青岛大学附属医院伦理委员会批准(编号: QYFY WZLL 28532)。

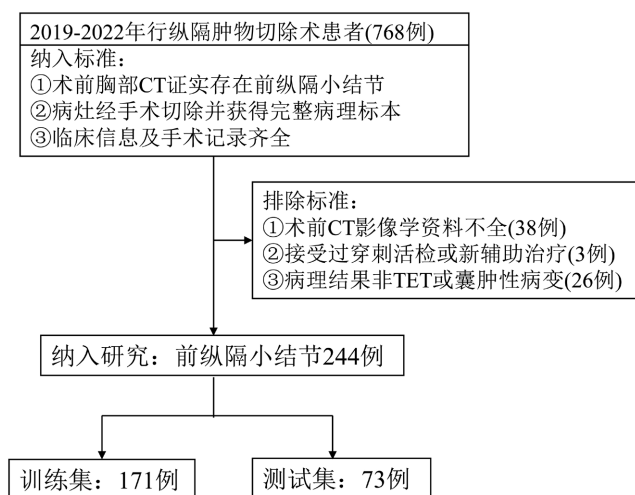


Figure 1. Patients screening process
图 1. 患者筛选过程

2.2. 方法

2.2.1. 图像采集

所有筛选入组的患者均以 DICOM 格式获取术前 3 周内的动静脉期胸部增强 CT。CT 图像使用 SOMATOM (西门子医疗系统, 德国)或 Brilliance iCT 256 (飞利浦医疗保健, 荷兰)扫描仪。CT 扫描项目依据我国常规胸部增强 CT 扫描技术规范。扫描参数如下: 管电压 120 kVp; 探测器准直 $64 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$ 和 $128 \text{ mm} \times 0.625 \text{ mm}$; 像素大小 $512 \text{ px} \times 512 \text{ px}$; 重建层厚为 1 mm。采用高压注射器经肘前静脉以 $3.0 \sim 3.5 \text{ mL/s}$ 的速度注入 1.0 mL/kg 对比剂(碘海醇注射液, 300 mg/mL , 北京北路制药有限公司), 随后进行生理盐水冲洗(20 mL), 获取增强 CT 图像。所有患者于注射对比剂 25 s、75 s 后进行动脉期和静脉期扫描。

2.2.2. 临床信息及影像学特征评估

临床及影像学形态特征包括年龄、性别、随访时间、症状、吸烟史、手术方式、术后病理诊断。根

据既往研究, 纳入的影像学特征包括肿瘤轴位最大直径, 结节强化状态(本研究将动脉期与静脉期病灶平均 CT 值差值大于 10 Hu 定义为强化, 否则为无强化), 结节边界(清晰/模糊), 结节形状(平滑/分叶或不规则), 结节实性部分密度(均匀/不均匀), 结节内钙化(有/无)。以上影像学特征由两位具有 5 年(医生 A)和 8 年(医生 B)以上经验的放射科医生分别于纵隔窗对每个结节进行评估, 当出现分歧时由第三位(医生 C) 30 年以上经验的放射科医师进行判定, 三人均对临床及病理信息不知情。

2.2.3. 图像分割及影像组学特征提取

首先对所有 CECT 图像进行预处理, 重采样为 $1.0 \times 1.0 \times 1.0 \text{ mm}^3$ 层厚, 并对图像灰度进行标准化。由两名胸部肿瘤诊断经验为 5 年与 8 年的医师使用开源软件(3Dslicer4.11)在 CT 图像纵隔窗上分别沿病灶边缘勾画病灶, 并融合成三维容积感兴趣区(Volume of Interest, VOI), 其中 8 年经验的医师勾画两次。影像组学特征组内和组间相关系数(inter- and Intra-Class correlation Coefficients, ICCs) [12]用于评估观察者自身的和观察者间的可重复性。ICC $s > 0.8$ 的特征被认为一致性好, 并且用于后续的特征筛选与模型建立。影像组学特征提取使用 FAE 软件(version 0.5.8; <https://github.com/salan668/FAE>)实现, 它是一个基于 Pyradiomics 软件包的开源软件[13] [14]。通过原始特征加高斯变换及小波变换 2 种滤波器来提取特征。对于原始特征和每种滤波器, 计算了 7 个类别的特征, 包括一阶图像强度统计量、形状、灰度共生矩阵、灰度游程矩阵、灰度区域大小矩阵、邻域灰度差矩阵、灰度相关矩阵。

2.2.4. 影像组学特征筛选和 Rad-Score 建立

ICC $s > 0.8$ 的特征用于筛选, 首先对所有特征进行标准化。采用 2 种算子依次选择特征, 第一步应用最小冗余最大相关(Minimum Redundancy Maximum Relevance, mRMR)算法获得与分类相关性最大但彼此之间相关性最小的 30 个特征。为了减少过拟合和简化模型, 第二步通过五折交叉验证方法使用最小绝对收缩和选择算子(Least absolute Shrinkage And Selection Operator, LASSO)对剩余特征进一步筛选, 剩余特征将被纳入 Rad-score 构建。每例患者的 Rad-score 是通过最终特征和相应的 LASSO 系数的线性结合计算出来的。

2.3. 建模与统计学处理

采用 SPSS 25.0、Python 3.7.6 及 R 4.1.0 软件进行统计。采用单因素 Logistic 回归分析以确定能够鉴别两组的潜在临床与影像学特征, 对单因素分析 $P < 0.1$ 的特征应用多因素 Logistic 回归分析, $P < 0.05$ 作为可以鉴别 TET 与囊肿性病变的独立预测因素。以具有统计学差异的临床、影像形态学特征和 Rad-score 作为输入变量, 运用多元 Logistic 回归分析建立列线图。通过受试者工作特征(receiver Operating Characteristic, ROC)曲线及其曲线下面积(Area under the Receiver Operating Characteristic, AUC)评估列线图在训练集和测试集中的诊断性能, 使用 1000 次迭代的 bootstrap 方法获得指标的 95% 置信区间。绘制校准曲线评估模型的拟合优度, 以评估模型是否足够稳健。通过使用决策曲线分析(Decision Curve Analysis, DCA)评估模型临床应用价值。 P 值 < 0.05 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 人口统计学和临床病理特征

共筛查 768 例患者, 其中 270 例存在前纵隔小结节病灶, 其中 155 例囊肿性病变, 89 例 TET, 26 例其他病变。TET 与囊肿性病变在前纵隔小结节中占比超过 90%。前纵隔小结节的病理类型与数量分布见表 1。

Table 1. Summary of pathological characteristics for SAMNs**表 1.** 前纵隔小结节病理类型表

病理类型	前纵隔小结节(n = 270)
胸腺上皮源性肿瘤	89
胸腺瘤	74
A	5
AB	30
B1	14
B2	12
B3	3
其他类型	10
胸腺癌	14
胸腺神经内分泌肿瘤	1
囊肿	155
支气管囊肿	104
胸腺囊肿	38
其他类型	13
其他	26
畸胎瘤	9
胸腺增生	5
脂肪瘤	4
血管瘤	3
梭形细胞瘤	2
异位甲状腺肿	1
精原细胞瘤	1
淋巴结	1

共 244 例 TET 与囊肿性病变纳入模型构建, 其中男性 120 例, 女性 124 例, 中位年龄 52 岁, 中位病灶直径 22 mm。多数患者没有症状(79.1%)且大多(74.6%)在发现病变的 6 个月以内接受了手术治疗, 绝大多数患者(95.9%)接受了胸腔镜手术。表 2 总结了训练集与测试集患者的基线临床与影像形态特征。

Table 2. Clinical and radiologic features of the patients**表 2.** 患者临床及影像学特征

特征	训练集(n = 171)	测试集(n = 73)	全集(n = 244)
年龄	53 (43, 59)	52 (45, 60)	52 (43, 59)
性别			
女	82 (48.0)	42 (57.5)	124 (50.8)
男	89 (52.0)	31 (42.5)	120 (49.2)

续表

*随访时间			
≤6 月	128 (74.9)	54 (74.0)	182 (74.6)
>6 月	43 (25.1)	19 (26.0)	62 (25.4)
病灶直径(mm)	23 (17, 27)	22 (19, 26)	22 (17, 27)
症状			
无	134 (78.4)	59 (80.8)	193 (79.1)
有	37 (21.6)	14 (19.2)	51 (21.9)
乏力症状			
无	162 (94.7)	67 (91.8)	229 (93.9)
有	9 (5.3)	6 (8.2)	15 (6.1)
吸烟史			
无	132 (77.2)	53 (72.6)	185 (75.8)
有	39 (22.8)	20 (27.4)	59 (24.2)
是否强化			
未强化	58 (33.9)	26 (35.6)	84 (34.4)
强化	113 (66.1)	47 (64.4)	160 (65.6)
形状			
不规则	133 (77.8)	61 (83.6)	194 (79.5)
规则	38 (22.2)	12 (16.4)	50 (20.5)
边缘			
清晰	136 (79.5)	61 (83.6)	197 (80.7)
模糊	35 (20.5)	12 (16.4)	47 (19.3)
实性部分密度			
均匀	110 (64.3)	53 (72.6)	163 (66.8)
不均匀	61 (35.7)	20 (27.4)	81 (33.2)
钙化			
无	162 (94.7)	68 (93.2)	230 (94.3)
有	9 (5.3)	5 (6.8)	14 (5.7)
手术方式			
胸腔镜手术	165 (96.5)	69 (94.5)	234 (95.9)
开放手术	6 (3.5)	4 (5.5)	10 (4.1)
病理性质			
囊肿	109 (63.7)	46 (63.0)	155 (63.5)
胸腺上皮性肿瘤	62 (36.3)	27 (37.0)	89 (36.5)

*指首次发现前纵隔小结节至手术时间。

3.2. 影像组学特征筛选与影像组学评分构建

从动脉期与静脉期图像中共提取特征 1890 个，其中 41% (775 个)的特征 ICCs > 0.8 用于后续特征筛选，使用 mRMR 算法筛选出 30 个特征，LASSO 对于者 0 个特征进一步筛选，最终剩余 15 个特征纳入模型构建。LASSO 选择过程如图 2 所示，最终特征权重及热图如图 3 所示。

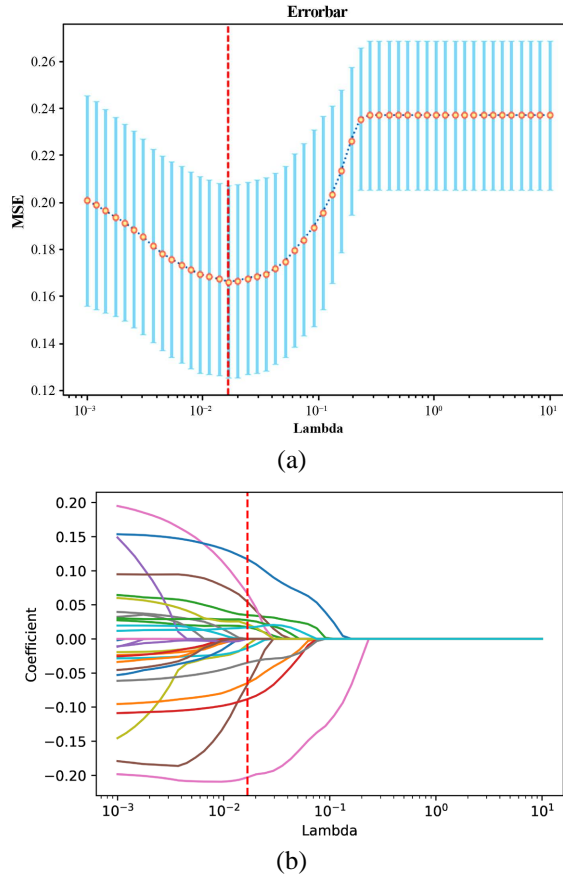
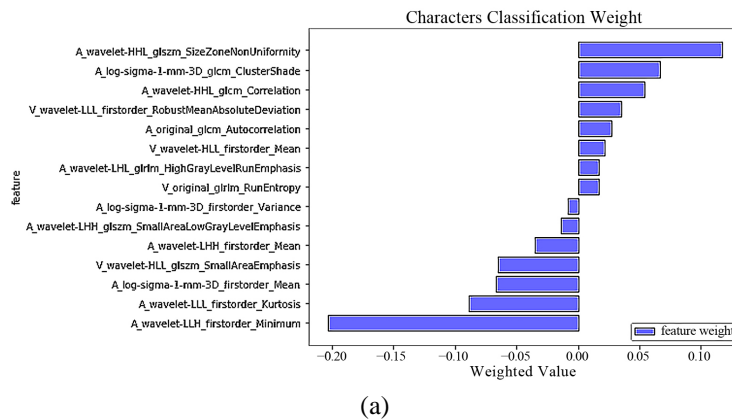
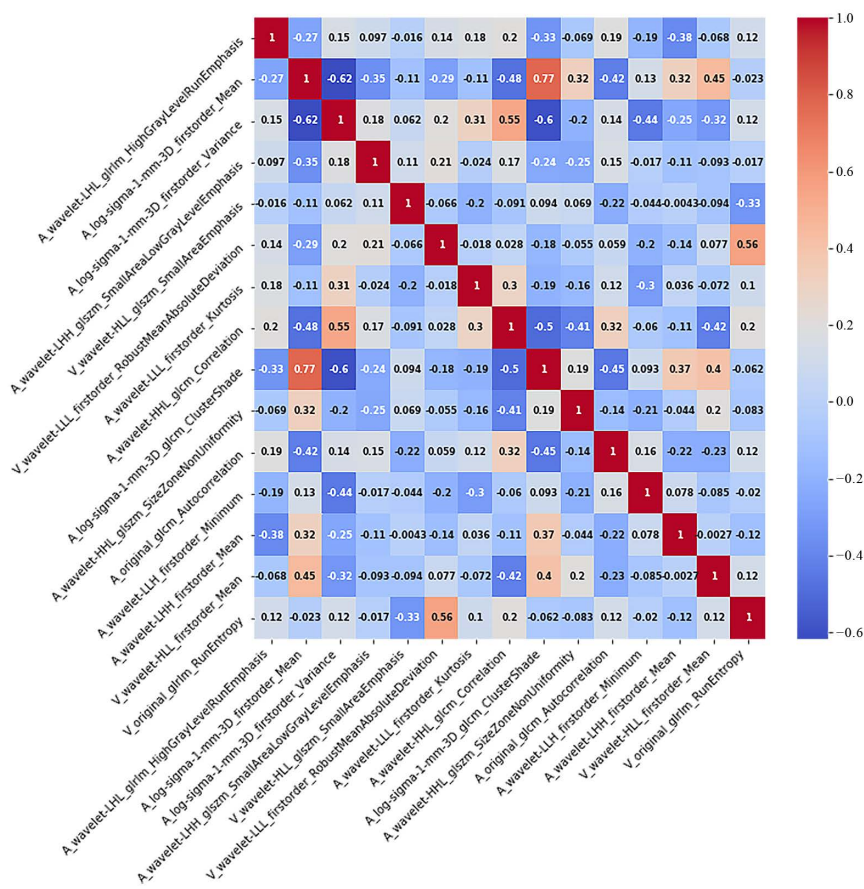


Figure 2. LASSO feature selection process. (a) The change of partial likelihood deviance with responding to the change of lambda in the cross-validation process, the red line showed the optimal lambda in the LASSO metho; (b) The corresponding number of features at optimal lambda

图 2. LASSO 特征选择过程。(a) 在交叉验证过程中，部分似然偏差随 lambda 的变化而变化，红线表示 LASSO 方法中最优 lambda；(b) 最优 lambda 时对应的特征数量





(b)

Figure 3. Radiomics feature. (a) The final 15 radiomics features and their respective weight; (b) The heat map between 15 radiomics features

图 3. 特征结果。(a) 15 个最终特征及其权重；(b) 15 个医学影像学特征值热图

使用 LASSO 系数与所得特征构建出 Rad-score 公式如下：

$$\begin{aligned}
 \text{Rad-score} = & 0.017275 \times \text{A_wavelet-LHL_grlm_High Gray Level Run Emphasis} \\
 & -0.066765 \times \text{A_log-sigma-1-mm-3D_firstorder_Mean} \\
 & -0.008502 \times \text{A_log-sigma-1-mm-3D_firstorder_Variance} \\
 & -0.013502 \times \text{A_wavelet-LHH_glszm_Small Area Low Gray Level Emphasis} \\
 & -0.064869 \times \text{V_wavelet-HLL_glszm_Small Area Emphasis} \\
 & +0.034898 \times \text{V_wavelet-LLL_firstorder_Robust Mean Absolute Deviation} \\
 & -0.088437 \times \text{A_wavelet-LLL_firstorder_Kurtosis} \\
 & +0.054096 \times \text{A_wavelet-HHL_glcm_Correlation} \\
 & +0.066578 \times \text{A_log-sigma-1-mm-3D_glcm_Cluster Shade} \\
 & +0.116793 \times \text{A_wavelet-HHL_glszm_Size Zone Non Uniformity} \\
 & +0.027292 \times \text{A_original_glcm_Autocorrelation} \\
 & -0.203092 \times \text{A_wavelet-LLH_firstorder_Minimum} \\
 & -0.034885 \times \text{A_wavelet-LHH_firstorder_Mean} \\
 & +0.021485 \times \text{V_wavelet-HLL_firstorder_Mean} \\
 & +0.016772 \times \text{V_original_grlm_Run Entropy}
 \end{aligned}$$

3.3. 列线图的构建和模型诊断能力

将训练集患者的临床、影像学形态特征和 Rad-score 纳入单因素与多因素 Logistic 回归分析，发现独立预测因素包括结节形状、强化状态和 Rad-score，单因素与多因素回归过程见表 3。根据独立预测因素构建了诊断模型及其对应的列线图(图 4)。

Table 3. Univariate and multivariate Logistic analysis for training set
表 3. 训练集单因素与多因素 Logistic 回归分析

特征	单因素分析		多因素分析	
	OR (95% CI)	P 值	OR (95% CI)	P 值
年龄	1.03 (1.00, 1.06)	0.045	1.018 (0.97, 1.07)	0.492
性别(男)	2.23 (1.17, 4.23)	0.015	2.20 (0.72, 6.66)	0.165
*随访时间(>6 月)	1.78 (0.88, 3.60)	0.108		
病灶直径(mm)	1.12 (1.06, 1.19)	<0.001	1.03 (0.92, 1.15)	0.646
症状(有)	1.26 (0.60, 2.66)	0.541		
吸烟史(有)	1.30 (0.63, 2.70)	0.481		
强化状态(强化)	31.70 (7.38, 136.22)	<0.001	35.92 (3.67, 351.57)	0.002
形状(不规则)	6.87 (3.09, 15.30)	<0.001	7.36 (2.23, 24.32)	0.001
边缘(模糊)	2.57 (1.21, 5.48)	<0.015	2.31 (0.68, 7.82)	0.179
实性密度(不均)	6.71 (3.34, 13.45)	<0.001	1.85 (0.58, 5.89)	0.299
钙化(有)	3.79 (0.91, 15.71)	0.067	1.09 (0.001, 882.70)	0.981
Rad-score	28057.63 (1130.52, 696344.73)	<0.001	39657.91 (766.73, 2051234.19)	<0.001

*指首次发现前纵隔小结节至手术时间。

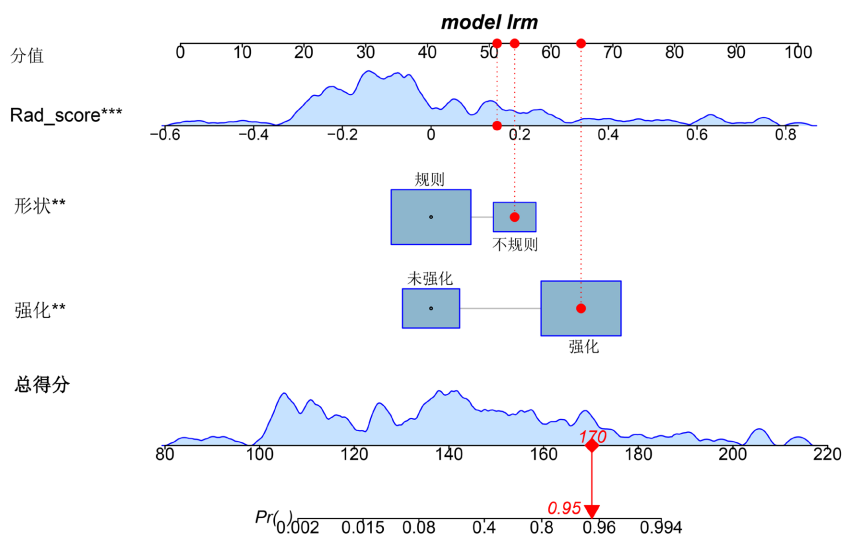


Figure 4. Predictive model nomogram
图 4. 预测模型列线图

列线图在训练集与测试集的敏感性与特异性分别为 0.85, 0.89 和 0.77, 0.80。ROC 曲线显示模型在训练集及测试集上均取得了良好的预测效能, 其 AUC 值分别为 0.95 (95% CI: 0.91~0.98) 和 0.86 (95% CI: 0.78~0.95) (图 5(a), 图 5(b)), 两者之间没有统计学差异。图 5(c) 所示的校准曲线表明, 测试集中从模型得到的预测值和实际值之间有很高的一致性。该模型的决策曲线分析(DCA)如图 5(d) 所示, 揭示了在测试集中当阈值概率在 0~1.0 范围内时, 模型决策优于“全部治疗”或“全部不治疗”策略。

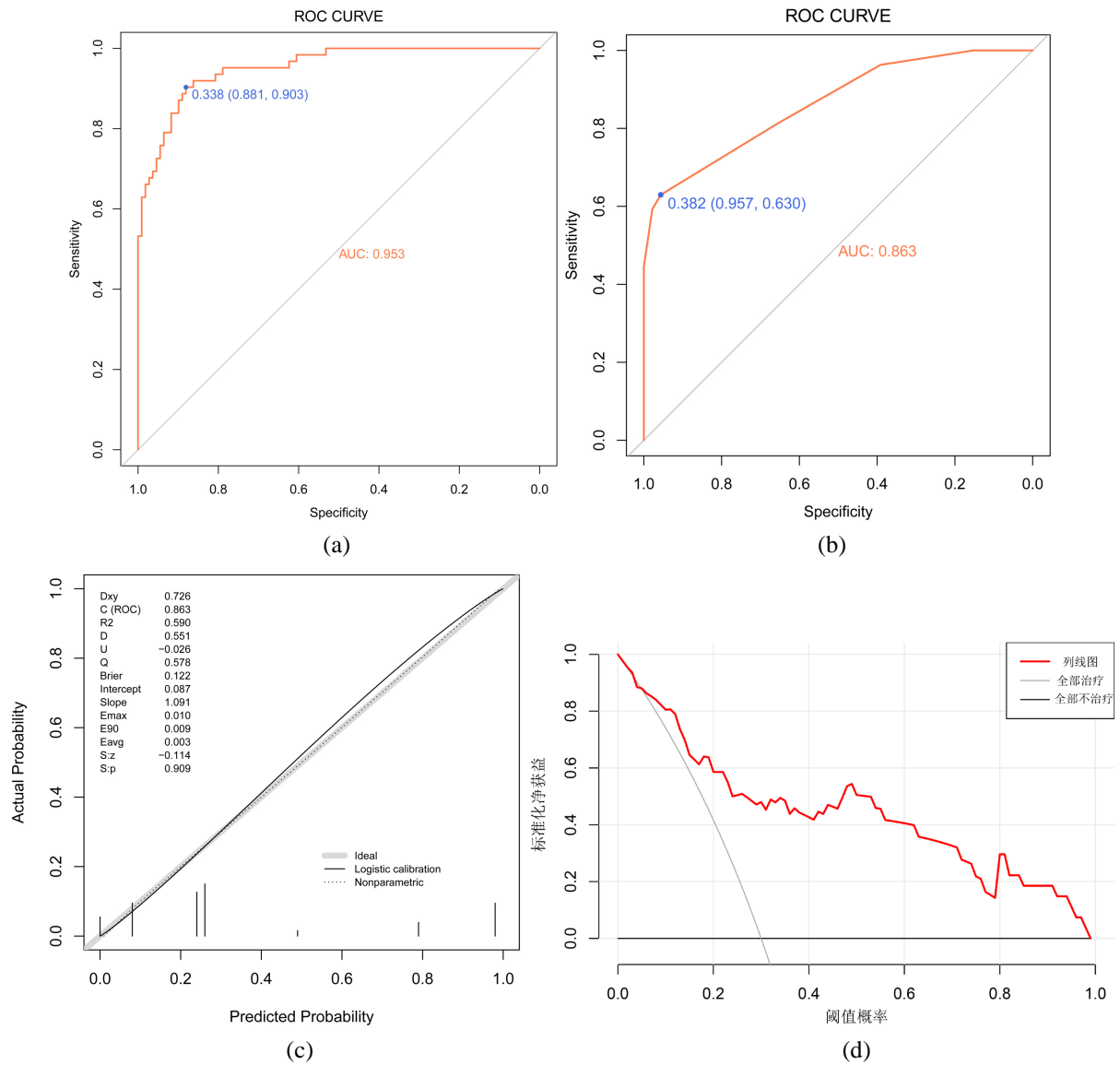


Figure 5. The diagnostic ability of the model evaluated in the training set and the test set. (a) The ROC curve of training set, (b) The ROC curve of test set, (c) The calibration curve of test set, (d) The DCA curve of test set

图 5. 模型在训练集与测试集诊断性能。(a) 训练集 ROC 曲线; (b) 测试集 ROC 曲线; (c) 测试集校准曲线; (d) 测试集 DCA 曲线

4. 讨论

先前的研究已经证明了影像组学对于 TET 的预测能力, 包括病理分级[15]、可切除性[8]等。本研究尝试利用影像组学技术鉴别前纵隔小结节的病理性质。基于病灶动静脉期双时相影像组学特征、临床特

征及影像形态特征构建了预测模型来鉴别诊断 TET 与囊肿性病变,模型在训练集和验证集中诊断能力均较高。

本研究回顾性筛选了 768 例接受纵隔病损切除术治疗的患者,发现 270 例患者存在前纵隔小结节病灶,其中囊肿性病变占比最多,其次是 TET,这与既往研究的结果一致[6] [7],除两者之外的其他病变占比不足 10%,故诊断模型仅纳入 TET 与囊肿。前纵隔小结节的诊断难点即在于 TET 与囊肿的鉴别诊断,TET 和囊肿均可表现为前纵隔软组织密度结节,早期的 TET 往往缺少明显的外侵征象,所以难以进行鉴别[5]。临床上对于两者的鉴别主要通过病灶是否强化,而前纵隔区域的病灶可能会受到部分容积效应及周围大血管强化的线束硬化伪影影响[16] [17],而导致“假性强化”[18],这使得人工诊断导致的 TET 假阳性率较高,许多出现“假性强化”的囊肿性病变更被误诊为 TET 而进行手术治疗[19]。

在本研究中绝大多数患者没有症状,实际上前纵隔小结节较少引起血管受压症状,这是因为前纵隔区域主要为脂肪等疏松组织填充其间,在此范围内不超过 3 cm 的肿物通常无法对周围组织造成压迫[20]。故以 3 cm 为界将前纵隔肿物分层为前纵隔小结节有其临床意义[21]。大多数患者在初次发现病灶后 6 个月内接受了手术治疗,这反映了目前临床上针对前纵隔肿物仍然坚持发现后尽早切除的原则,但对于囊肿性病变更绝大多数在随访期间无变化,而早期 TET 的倍增时间可长达一年以上,所以理论上首次发现后 6 个月复查是安全的[7] [22],可以根据随访病灶变化帮助诊断确定后续治疗方案。

本研究从 1890 个特征中进行筛选与降维,最终提取出 15 项特征构建了 Rad-score,相对于一般的影像组学研究,本研究从动静脉期双时相提取特征增加了模型的预测效能,在特征筛选与降维方面我们采取了 ICC、mRMR 与 LASSO 三步筛选方法,使得最终特征的泛化能力与相关性均较好。Zhou 等[23]的研究发现临床特征和影像学形态特征对于诊断前纵隔肿物性质存在价值,故本研究同时纳入了有意义的临床特征与影像学形态特征共同构建模型,结果显示结节出现强化与结节形状不规则是 TET 的预测因素,这是因为 TET 存在血供及生长不规则的缘故。本研究结果表明,列线图模型验证集 AUC 为 0.86,即该诊断模型可以比较准确的鉴别 TET 与囊肿,这一方面可为临床医师决定是否手术提供可靠依据,另一方面也为患者接受准确的治疗提供了有力保障。

既往有研究证明胸部 MR 有助于纵隔结节的诊断,其分辨囊性病变更与实性病变更的能力高于胸部增强 CT [24] [25]。但同时胸部 MR 一般情况下还是有一定的局限性,并且纵隔脂肪越少,或软组织体积的相对增加,患者呼吸及心脏大血管搏动形成的伪影对 MR 造成的影响更大[26],仅仅依靠胸部 MR 往往难以对病灶进行诊断,往往需要结合胸部增强 CT 做出诊断。同时其检查时间长,价格较高,有禁忌症等缺陷导致国内开展胸部 MR 检查的医院较少,而胸部增强 CT 由于其应用普遍,对患者肺功能要求低,各级医院均可完成检查等优点,所以目前仍是诊断纵隔肿物的最重要影像学检查。故本研究选取胸部增强 CT 为依据使用影像组学的方法建立诊断模型。

虽然本研究的结果总体较理想,但也存在一些局限性:① 本研究作为一项回顾性研究,不可避免的存在选择偏倚;② 前纵隔小结节的发病率较低导致样本量较小,进一步的研究需要更大规模的多中心数据。③ 没有取得患者胸部 CT 平扫,无法通过平扫图像判断病灶是否出现增强,只能以动静脉期 CT 值差值进行判断。

综上所述,从胸部 CECT 中提取的放影像组学特征可以提高术前鉴别 TET 与囊肿性病变更的能力,本研究建立了基于术前 CECT 影像组学和临床特征的诊断模型及列线图,可以辅助诊断前纵隔小结节的病理性质,从而指导临床治疗。

参考文献

- [1] Carter, B.W., Tomiyama, N., Bhora, F.Y., et al. (2014) A Modern Definition of Mediastinal Compartments. *Journal of*

- Thoracic Oncology*, **9**, S97-S101. <https://doi.org/10.1097/JTO.0000000000000292>
- [2] Yoon, S.H., Choi, S.H., Kang, C.H., *et al.* (2018) Incidental Anterior Mediastinal Nodular Lesions on Chest CT in Asymptomatic Subjects. *Journal of Thoracic Oncology*, **13**, 359-366. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2017.11.124>
- [3] 陈孝平, 汪建平. 外科学[M]. 第8版. 北京: 人民卫生出版社, 2013.
- [4] Kent, M.S., Wang, T., Gangadharan, S.P., *et al.* (2014) What Is the Prevalence of a “Nontherapeutic” Thymectomy? *The Annals of Thoracic Surgery*, **97**, 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.07.121>
- [5] Ackman, J.B., Verzosa, S., Kovach, A.E., *et al.* (2015) High Rate of Unnecessary Thymectomy and Its Cause. Can Computed Tomography Distinguish Thymoma, Lymphoma, Thymic Hyperplasia, and Thymic Cysts? *European Journal of Radiology*, **84**, 524-533. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.11.042>
- [6] Roden, A.C., Fang, W., Shen, Y., *et al.* (2020) Distribution of Mediastinal Lesions across Multi-Institutional, International, Radiology Databases. *Journal of Thoracic Oncology*, **15**, 568-579. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2019.12.108>
- [7] Fang, W.T., Xu, N., Shen, Y., *et al.* (2022) Management of Incidentally Detected Small Anterior Mediastinal Nodules: Which Way to Go? *Lung Cancer*, **168**, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2022.04.007>
- [8] Araujo-Filho, J.A.B., Mayoral, M., Zheng, J., *et al.* (2022) CT Radiomic Features for Predicting Resectability and TNM Staging in Thymic Epithelial Tumors. *The Annals of Thoracic Surgery*, **113**, 957-965. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2021.03.084>
- [9] Shen, Y., Gu, Z., Ye, J., *et al.* (2016) CT Staging and Preoperative Assessment of Resectability for Thymic Epithelial Tumors. *Journal of Thoracic Disease*, **8**, 646-655. <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.03.01>
- [10] Wu, G., Woodruff, H.C., Shen, J., *et al.* (2020) Diagnosis of Invasive Lung Adenocarcinoma Based on Chest CT Radiomic Features of Part-Solid Pulmonary Nodules: A Multicenter Study. *Radiology*, **297**, 451-458. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020192431>
- [11] 高琳, 于鑫鑫, 康冰, 等. CT 影像组学对肺纯磨玻璃结节浸润性的预测价值[J]. 山东大学学报(医学版), 2022, 60(5): 87-97.
- [12] Shrout, P.E. and Fleiss, J.L. (1979) Intraclass Correlations: Uses in Assessing Rater Reliability. *Psychological Bulletin*, **86**, 420-428. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420>
- [13] Song, Y., Zhang, J., Zhang, Y.D., *et al.* (2020) Feature Explorer (FAE): A Tool for Developing and Comparing Radiomics Models. *PLOS ONE*, **15**, e0237587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237587>
- [14] Van Griethuysen, J.J.M., Fedorov, A., Parmar, C., *et al.* (2017) Computational Radiomics System to Decode the Radiographic Phenotype. *Cancer Research*, **77**, e104-e107. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-17-0339>
- [15] Blüthgen, C., Patella, M., Euler, A., *et al.* (2021) Computed Tomography Radiomics for the Prediction of Thymic Epithelial Tumor Histology, TNM Stage and Myasthenia Gravis. *PLOS ONE*, **16**, e0261401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261401>
- [16] Winklhofer, S., Lambert, J.W., Sun, Y., *et al.* (2017) Pelvic Beam-Hardening Artifacts in Dual-Energy CT Image Reconstructions: Occurrence and Impact on Image Quality. *American Journal of Roentgenology*, **208**, 114-123. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.16013>
- [17] Lifton, J.J. (2017) Multi-Material Linearization Beam Hardening Correction for Computed Tomography. *Journal of X-Ray Science and Technology*, **25**, 629-640. <https://doi.org/10.3233/XST-16197>
- [18] 朱振华, 赵莲子, 赵霞, 等. 对纵隔囊肿 CT 假性强化影响因素的探讨[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33(4): 572-576.
- [19] 谷潇雨, 朱丽, 任帅, 等. 支气管源性囊肿 CT 与 MRI 表现和误诊分析[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(11): 1752-1756.
- [20] Nakano, T. and Endo, S. (2015) Management for Life-Threatening Mediastinal Tumor. *Kyobu Geka: The Japanese Journal of Thoracic Surgery*, **68**, 695-700.
- [21] Kuriyama, S., Imai, K., Ishiyama, K., *et al.* (2022) Using CT to Evaluate Mediastinal Great Vein Invasion by Thymic Epithelial Tumors: Measurement of the Interface Between the Tumor and Neighboring Structures. *European Radiology*, **32**, 1891-1901. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08276-z>
- [22] Fang, W. (2019) MS03.04 Followup/Surveillance of Small Anterior Mediastinal Lesions. *Journal of Thoracic Oncology*, **14**, S153. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2019.08.312>
- [23] Zhou, Z., Qu, Y., Zhou, Y., *et al.* (2022) Development and Validation of a CT-Based Radiomics Nomogram in Patients with Anterior Mediastinal Mass: Individualized Options for Preoperative Patients. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article 869253. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.869253>
- [24] Carter, B.W., Lichtenberger, J.P. and Benveniste, M.F. (2018) MR Imaging of Thymic Epithelial Neoplasms. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, **27**, 65-71. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000160>

- [25] 杨晶, 卢洁, 赵志莲, 等. MR 弥散加权成像用于胸部疾病进展[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(7): 1094-1097.
- [26] Link, K.M., Samuels, L.J., Reed, J.C., *et al.* (1993) Magnetic Resonance Imaging of the Mediastinum. *Journal of Thoracic Imaging*, **8**, 34-53. <https://doi.org/10.1097/00005382-199324000-00006>