

## CT radiomics combined with CT and preoperative pathological features for predicting postoperative early recurrence of local advanced esophageal squamous cell carcinoma

XING Jingjing, LIU Yiyang, ZHOU Yue, ZHAN Pengchao, WANG Rui,  
CHAI Yaru, LYU Peijie, GAO Jianbo\*

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the value of CT radiomics combined with CT and preoperative pathological features for predicting postoperative early recurrence (ER) of local advanced esophageal squamous cell carcinoma (LAESCC).

**Methods** Data of 334 patients with LAESCC were retrospectively analyzed. The patients were divided into training set ( $n=234$ ) and verification set ( $n=100$ ) at the ratio of 7:3 and were followed up to observe ER (recurrence within 12 months after surgery) or not. Univariate and multivariate logistic regression were used to analyze clinical, CT and preoperative pathological features of LAESCC in patients with or without ER in training set. The independent risk factors of ER were screened, and a CT-preoperative pathology model was constructed. Based on venous phase CT in training set, the radiomics features of lesions were extracted and screened to establish radiomics model, and finally a combined model was established based on radiomics model and the independent risk factors. Receiver operating characteristic (ROC) curves were drawn, and the area under the curve (AUC) was calculated to evaluate the diagnostic efficacy of each model. **Results**

Among 334 cases, 168 were found with but 166 without ER. In training set, 117 cases were found with while the rest 117 without ER, while in verification set, 51 were found with but 49 without ER. The length of lesions, cT stage and cN stage shown on CT and tumor differentiation degree displayed with preoperative pathology were all independent risk factors for ER of LAESCC (all  $P<0.05$ ). The AUC of CT-preoperative pathology model in training set and validation set was 0.759 and 0.783, respectively. Ten best radiomics features of LAESCC were selected, and AUC of the established radiomics model in training set and validation set was 0.770 and 0.730, respectively. The AUC of combined model in training and validation set was 0.838 and 0.826, respectively. The AUC of CT radiomics combined with CT and preoperative pathological features in training set was higher than that of CT-preoperative pathology model and radiomics model (both  $P<0.01$ ). **Conclusion** CT radiomics combined with CT and preoperative pathological features could effectively predict postoperative ER of LAESCC.

**[Keywords]** esophageal neoplasms; carcinoma, squamous cell; X-ray computed, tomography; radiomics; neoplasm recurrence, local

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.06.014

## 术前 CT 影像组学联合 CT 及病理特征预测局部进展期食管鳞癌术后早期复发

邢静静, 刘译阳, 周悦, 詹鹏超, 王睿, 柴亚如, 吕培杰, 高剑波\*  
(郑州大学第一附属医院放射科, 河南 郑州 450052)

**[摘要]** **目的** 观察术前 CT 影像组学联合病理及 CT 特征预测局部进展期食管鳞癌 (LAESCC) 早期复发 (ER) 的价

**[第一作者]** 邢静静 (1989—), 女, 河南周口人, 硕士, 主治医师。研究方向: 消化系统肿瘤影像学。E-mail: xingjj89@163.com

**[通信作者]** 高剑波, 郑州大学第一附属医院放射科, 450052。E-mail: cjr.gaojianbo@vip.163.com

**[收稿日期]** 2024-01-20 **[修回日期]** 2024-02-19

值。方法 回顾性分析 334 例 LAESCC,按 7:3 比例将患者分为训练集( $n=234$ )或验证集( $n=100$ ),对其进行随访,记录术后有无 ER(即术后 12 个月内肿瘤复发)。采用单因素及多因素 logistic 回归比较训练集有、无 ER 患者临床、CT 表现及术前病理资料,筛选 ER 独立危险因素,构建 CT-术前病理模型。基于训练集静脉期 CT 图像提取及筛选 LAESCC 影像组学特征并建立影像组学模型,以之联合独立危险因素建立联合模型。绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC),评估各模型诊断效能。结果 334 例中,168 例 ER、166 例无 ER;训练集有、无 ER 均为 117 例、验证集 51 例 ER、49 例无 ER。CT 显示 LAESCC 长度、cT 分期、cN 分期及术前病理分化程度均为 ER 独立危险因素( $P$ 均 $<0.05$ );CT-术前病理模型在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.759 和 0.783。共选出 10 个最佳影像组学特征,以之建立的影像组学模型在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.770 和 0.730,联合模型在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.838 和 0.826。联合模型在训练集的 AUC 高于术前 CT-病理模型及影像组学模型( $P$ 均 $<0.01$ )。结论 CT 影像组学联合 CT 及术前病理特征能有效预测 LAESCC 术后 ER。

[关键词] 食管肿瘤;癌,鳞状细胞;体层摄影,X 线计算机;影像组学;肿瘤复发,局部

[中图分类号] R735.1; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2024)06-0863-06

外科手术是治疗食管癌的主要治疗手段,术后 1 年复发率高达 40%~70%<sup>[1]</sup>,局部进展期食管癌术后 1 年复发率达 50%以上,复发后患者中位生存期仅 3~9 个月<sup>[2]</sup>。早期复发(early recurrence, ER)是手术治疗局部进展期食管癌失败的重要原因。本研究观察术前 CT 影像组学联合 CT 及病理特征预测局部进展期食管鳞癌(locally advanced esophageal squamous cell carcinoma, LAESCC)术后 ER 的价值。

## 1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2015 年 1 月—2017 年 12 月于郑州大学第一附属医院经手术病理确诊的 334 例 LAESCC,男 226 例、女 108 例,年龄 40~82 岁、平均(62.2±7.4)岁;按 7:3 比例分为训练集( $n=234$ )及验证集( $n=100$ )。纳入标准:①接受胸部 CT 检查且资料完整;②CT 检查前接受胃镜及活检病理检查,并于 CT 后 2 周内均接受食管癌根治性切除术和区域淋巴结清扫术,术后病理为 T1~2N1M0 或 T3~4aN0/1M0 食管鳞癌;③临床资料完整,随访时间 $>12$  个月。排除标准:①术前接受化学、放射治疗等;②CT 图像质量差;③肿瘤过小(最大径 $\leq 5$  mm),术前 CT 未显示或无法分割病灶;④术后病理显示切缘阳性;⑤食管多原发癌或合并其他部位恶性肿瘤。本研究经院伦理委员会批准(2021-KY-1070-002);检查前患者均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Somatom sensation 64、Philips Brilliance iCT 或 GE Discovery CT750 HD CT 仪行胸部平扫,范围自胸廓入口水平至肺底;参数:管电压 120 kV,管电流 220~330 mAs 或自动毫安调节,转速 0.5~0.8 s/rot,准直器 64×0.625 mm 或 32×0.6 mm,层厚 5 mm,层间距 5 mm。之后经外周静脉以流率 3~3.5 ml/s 注射对比剂碘海醇

(350 mgI/ml)或碘佛醇(320 mgI/ml)1.5 ml/kg 体质量,延迟 30 s、70 s 采集动脉期、静脉期图像。原始图像进行薄层重建,层厚 0.625 或 1.000 mm,矩阵 512×512,并重建冠状位及矢状位 CT。

1.3 分析图像 由具有 10 年(医师 1)及 13 年(医师 2)工作经验的影像科医师各 1 名以盲法阅片,于冠状位或矢状位 CT 中测量病灶长度<sup>[3]</sup>、于轴位 CT 中测量其厚度;于轴位平扫及静脉期 CT 显示病灶最大层面,避开管腔、血管及食管周围脂肪放置圆形 ROI,测量平扫及静脉期(venous phase, VP)CT 值,重复测量 3 次取平均值,并计算静脉期强化率,即 $(CT_{VP} - CT_{平扫})/CT_{平扫}$ 。评估病变 CT T 分期(cT)及 N 分期(cN)。cT:以食管管壁轻度增厚 $<5$  mm或腔内病变厚度 $<10$  mm 为 T1 期;食管壁增厚 5~10 mm、轴位 CT 显示肿瘤累及范围不足管壁 1 周,或腔内病变厚度 $<20$  mm 为 T2 期;食管壁环周性增厚 $>10$  mm、食管周围脂肪间隙消失但不侵犯周围结构,或溃疡型病灶厚度 $>5$  mm 为 T3 期;食管壁环周性明显增厚,管壁外轮廓不光整,病变与心包、胸膜或奇静脉等关系密切但尚未侵犯气管、主动脉和椎体为 T4a 期;以病灶侵犯气管、主动脉、肌肉组织或其他重要脏器为 T4b 期<sup>[4]</sup>。cN:符合以下任意项即诊断为淋巴结转移<sup>[5]</sup>,包括纵隔区、腹腔淋巴结短径 $\geq 10$  mm,气管、食管沟旁、锁骨上区淋巴结短径 $\geq 5$  mm,淋巴结近圆形(短径/长径 $>0.66$ ),淋巴结(任意大小)中央区合并低密度坏死或 3 个以上淋巴结聚集成团/簇。

2 名医师对于定性参数意见不一致时经与另 1 名上级医师协商决定;对定量参数取二者测量结果的均值进行分析。

1.4 构建影像组学模型 将增强静脉期薄层 CT 导入 Siemens Syngo. Via VB10 平台,由医师 1 采用放射

组学软件(Radiomics 1.10.9a)于轴位 CT 中逐层勾画病变 ROI(图 1),获得其全肿瘤感兴趣容积(volume of interest, VOI),提取其影像组学特征;间隔 3 个月后随机抽取 30 例,由医师 1、2 以相同方法再次提取病变特征。采用组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)评估观察者间及观察者内提取特征的一致性,保留 ICC>0.75 的特征。利用 R 软件(version 4.2.1)以秩和检验剔除冗余特征,采用最大相关最小冗余(minimum redundancy maximum relevance, mRMR)及最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)算法,以 10 折交叉验证法筛选最优特征,通过 logistic 回归分析构建影像组学模型。

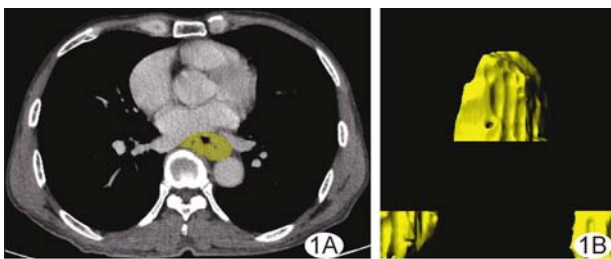


图 1 于轴位静脉期 CT 图中逐层勾画肿瘤 ROI(A, 黄绿色区域),获得全肿瘤 VOI(B)示意图

1.5 随访 患者于术后第 4 周始接受 4 个疗程化疗。

术后规律随访,前 2 年每 3 个月复查 1 次,随后每 6 个月复查 1 次、持续 3 年,之后每年复查 1 次。收集实验室检查,CT、PET/CT、MRI、超声及病理结果等,记录有无 ER(术后 12 个月内复发<sup>[6-7]</sup>)。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 25.0 统计分析软件。以  $\bar{x} \pm s$  描述符合正态分布计量资料,以中位数(上下四分位数)描述不符合者,行 *t* 检验或秩和检验。采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确概率法比较计数资料。基于训练集组间差异有统计学意义的临床、CT 及术前病理相关参数以多因素 logistic 回归分析筛选 LAESCC 发生 ER 的独立危险因素,建立术前 CT-病理模型,联合影像组学模型构建联合模型,生成列线图以可视化。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),评估各模型诊断效能,以 DeLong 检验进行比较。以校准曲线评估联合模型的校准度。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 基本资料 334 例中,168 例 ER(ER 组),166 例无 ER(无 ER 组);训练集有、无 ER 各 117 例,验证集 51 例 ER、49 例无 ER。训练集 ER 组与无 ER 组 CT 所见病变长度、厚度、cT 分期、cN 分期及术前病理分化程度差异均有统计学意义( $P$  均  $< 0.05$ ),其余参数差异均无统计学意义( $P$  均  $> 0.05$ )。见表 1。

表 1 训练集 234 例 LAESCC 临床、CT 及术前病理表现

| 组别                | 年龄(岁)          | 性别(例) |    | 饮酒史(例) |    | 吸烟史(例) |    | 家族史(例) |    | 血中性粒细胞/淋巴细胞比值    |
|-------------------|----------------|-------|----|--------|----|--------|----|--------|----|------------------|
|                   |                | 男     | 女  | 无      | 有  | 无      | 有  | 无      | 有  |                  |
| ER 组( $n=117$ )   | 62.0 $\pm$ 8.1 | 84    | 33 | 69     | 48 | 60     | 57 | 94     | 23 | 2.07(1.59, 2.95) |
| 无 ER 组( $n=117$ ) | 62.9 $\pm$ 7.0 | 80    | 37 | 72     | 45 | 71     | 46 | 89     | 28 | 1.99(1.54, 2.64) |
| $\chi^2/t/Z$ 值    | 0.924          | 0.326 |    | 0.161  |    | 2.098  |    | 0.627  |    | 1.369            |
| $P$ 值             | 0.357          | 0.558 |    | 0.689  |    | 0.147  |    | 0.429  |    | 0.171            |

| 组别                | 血小板/淋巴细胞比值            | 血淋巴细胞/单核细胞比值     | 病变位于食管位置(个) |    |    | 病变分化程度(个) |    |    | 病变长度(个) |        |       |
|-------------------|-----------------------|------------------|-------------|----|----|-----------|----|----|---------|--------|-------|
|                   |                       |                  | 上部          | 中部 | 下部 | 高         | 中  | 低  | <3 cm   | 3~5 cm | >5 cm |
| ER 组( $n=117$ )   | 124.35(97.82, 171.12) | 3.35(2.63, 4.54) | 14          | 75 | 28 | 1         | 88 | 28 | 5       | 49     | 63    |
| 无 ER 组( $n=117$ ) | 1.99(1.54, 2.64)      | 3.76(2.97, 4.99) | 15          | 75 | 27 | 12        | 96 | 9  | 16      | 67     | 34    |
| $\chi^2/t/Z$ 值    | 0.740                 | 1.871            | 0.053       |    |    | 19.412    |    |    | 17.225  |        |       |
| $P$ 值             | 0.459                 | 0.063            | 0.974       |    |    | <0.001    |    |    | <0.001  |        |       |

| 组别                | 病变厚度(mm)            | CT 值 <sub>平扫</sub> (HU) | CT 值 <sub>VP</sub> (HU) | 静脉期强化率           | cT 分期   |    |    |   | cN 分期  |    |    |    |
|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------|----|----|---|--------|----|----|----|
|                   |                     |                         |                         |                  | 1       | 2  | 3  | 4 | 0      | 1  | 2  | 3  |
| ER 组( $n=117$ )   | 14.63(11.23, 17.05) | 42.16 $\pm$ 8.06        | 85.30 $\pm$ 16.99       | 1.00(0.75, 1.25) | 0       | 17 | 94 | 6 | 47     | 27 | 30 | 13 |
| 无 ER 组( $n=117$ ) | 12.27(10.29, 15.94) | 42.10 $\pm$ 7.75        | 84.19 $\pm$ 15.56       | 0.96(0.78, 1.26) | 2       | 41 | 72 | 2 | 71     | 32 | 13 | 1  |
| $\chi^2/t/Z$ 值    | 2.895               | 0.061                   | 0.520                   | 0.051            | —       |    |    |   | 22.312 |    |    |    |
| $P$ 值             | 0.004               | 0.951                   | 0.603                   | 0.959            | <0.001* |    |    |   | <0.001 |    |    |    |

注: \* :采用 Fisher 精确概率法

### 2.2 CT-术前病理模型

CT 显示病变长度、cT 分期、cN 分期及术前病理所见肿瘤分化程度均为 LAESCC 术后 ER 的独立危险因素 ( $P$  均  $< 0.05$ , 表 2), 以之建立的 CT-术前病理模型在训练集的敏感度、特异度、准确率及 AUC 分别为 80.34%、62.39%、71.37% 及 0.759, 在验证集依次为 72.55%、73.47%、73.00% 及 0.783, 见图 2; 其在训练集与验证集的 AUC 差异无统计学意义 ( $Z = 0.230, P = 0.818$ )。

### 2.3 影像组学模型

共于训练集静脉期 CT 提取 1 691 个影像组学特征, 经 ICC 检验保留 1 520 个、剔除冗余特征后保留 672 个特征; 采用 mRMR 筛选出 100 个特征, 最后利用 LASSO 算法选出 10 个最优特征(图 3 及表 3); 以之构建的影像组学模型在训练集的敏感度、特异度、准确率及 AUC 分别为 74.36%、64.10%、69.23% 及 0.770, 在验证集分别为 76.47%、67.35%、72.00% 及 0.730, 见图 2; 其在训练集与验证集的 AUC 差异无统计学意义 ( $Z = 0.480, P = 0.632$ )。

2.4 联合模型 联合模型在训练集的敏感度、特异度、准确率及 AUC 分别为 70.94%、83.76%、77.35% 及 0.835, 在验证集分别为 86.27%、67.35%、77.00% 及 0.826, 见图 2; 其在训练集与验证集的 AUC 差异

表 2 以多因素 logistic 回归分析筛选 LAESCC 术后 ER 的独立危险因素

| 变量           | B 值    | 标准误   | P 值       | OR 值(95% CI)        |
|--------------|--------|-------|-----------|---------------------|
| CT 特征        |        |       |           |                     |
| 病变长度(cm)     | 0.627  | 0.254 | 0.014     | 1.872(1.138, 3.079) |
| cT           | 1.011  | 0.332 | 0.002     | 2.749(1.433, 5.272) |
| cN           | 0.660  | 0.176 | $< 0.001$ | 1.935(1.370, 2.732) |
| 常量           | -5.495 | 1.035 | $< 0.001$ | —                   |
| 术前病理显示肿瘤分化程度 | 1.235  | 0.391 | 0.002     | 3.439(1.599, 7.397) |

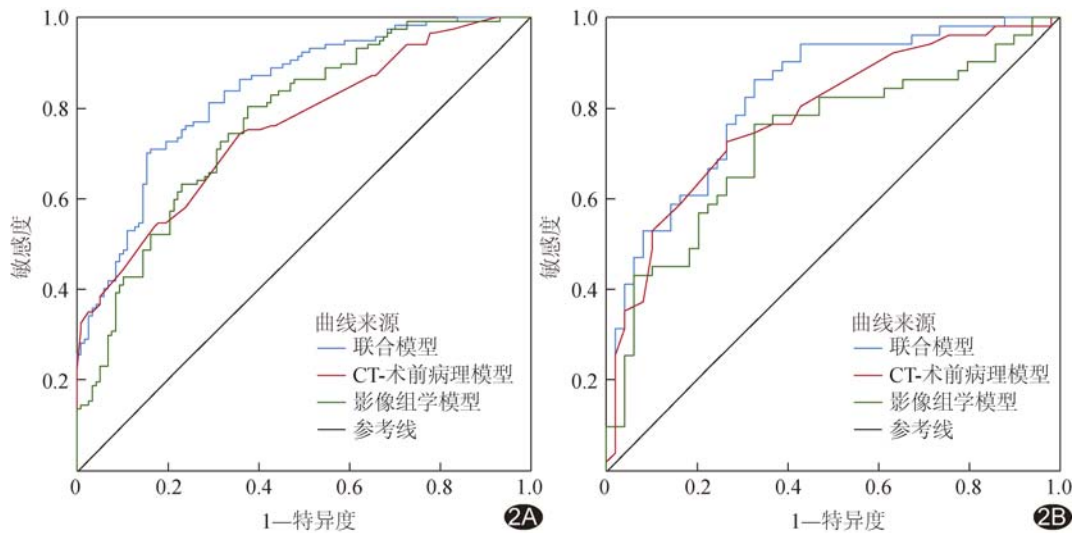
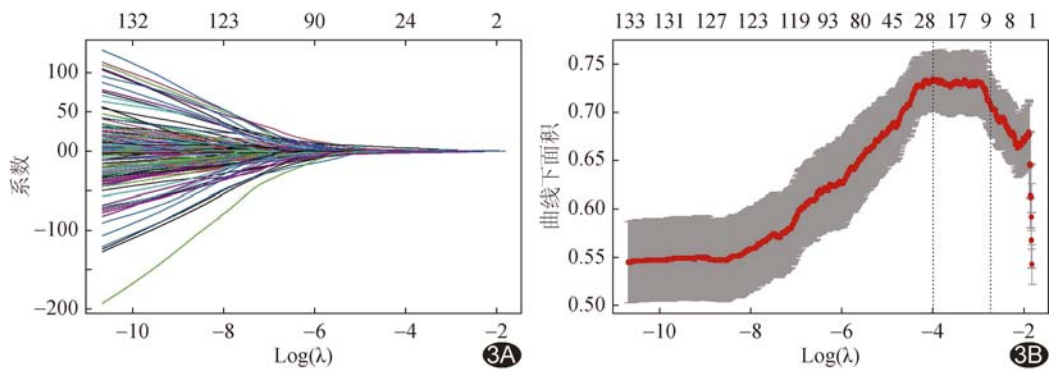


图 2 各模型预测 LAESCC 术后 ER 的 ROC 曲线 A. 训练集; B. 验证集



3 采用 LASSO 算法筛选 LAESCC 最优影像组学特征 A. LASSO 回归系数分布图; B. 根据最佳 λ 值筛选特征

无统计学意义 ( $Z = 0.195, P = 0.846$ ), 而在训练集的 AUC 高于 CT-术前病理模型及影像组学模型 ( $Z = 3.231, 3.426, P$  均  $< 0.01$ )。联合模型列线图见图 4, 其在训练集和验证集的校准度均较高(图 5)。

### 3 讨论

术后 ER 是影响食管癌患者长期生存的重要因素; 而肿瘤分化程度、淋巴结转移、术后有无接受放疗或化疗等是影响食管癌术后局部复发与否的主要因素;

表 3 筛选出的 10 个 LAESCC 影像组学特征及其权重

| 特征   | 权重             | P 值    |
|--|----------------|--------|
| wavelet-LLH_ngtdm_Contrast                                   | -0.227 126 091 | <0.001 |
| log-sigma-0-5-mm-3D_gldm_SmallDependenceLowGrayLevelEmphasis | -0.101 691 541 | <0.001 |
| wavelet-LHL_firstorder_Mean                                  | 0.145 565 639  | 0.003  |
| wavelet-HLL_firstorder_TotalEnergy                           | 0.163 196 039  | <0.001 |
| wavelet-LLL_gldm_DependenceEntropy                           | 0.095 466 284  | <0.001 |
| log-sigma-4-5-mm-3D_glrIm_RunLengthNonUniformity             | 0.186 446 489  | <0.001 |
| log-sigma-1-5-mm-3D_glcM_MaximumProbability                  | -0.190 329 228 | <0.001 |
| log-sigma-4-5-mm-3D_glcM_Autocorrelation                     | 0.124 602 401  | <0.001 |
| wavelet-HHL_glszm_ZoneEntropy                                | 0.041 760 071  | <0.001 |
| log-sigma-4-5-mm-3D_firstorder_TotalEnergy                   | 0.005 462 776  | <0.001 |

食管癌分化程度与其术后远处转移独立相关<sup>[8]</sup>, 肿瘤长度则影响食管鳞癌患者总生存期及无病生存期<sup>[9]</sup>。食管癌 CT 分期与预后密切相关<sup>[5,8]</sup>, 而以淋巴结短径  $\geq 10$  mm 为标准判断食管癌淋巴结转移的敏感度较低<sup>[10-11]</sup>。本研究综合淋巴结分区及短径、短径与长径的比值、密度及强化方式、成簇分布等评估 LAESCC 的 N 分期, 发现 CT 显示病变长度、cT、cN 分期及术前病理所见肿瘤分化程度均为 LAESCC 术后 ER 的独立危险因素, 以之构建的 CT-术前病理模型在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.759 和 0.783。

CT 影像组学可用于预测 ESCC 患者无复发生存及总生存期<sup>[3,12-14]</sup>, 且 CT 影像组学联合临床特征预测 ESCC 患者无病生存期和总生存期的效能优于单一临床模型及影像组学模型<sup>[3]</sup>。TANG 等<sup>[15]</sup>认为 CT 影像组学联合临床特征预测 LAESCC 术后 1 年内 ER 的效能良好。CT 影像组学联合 CT 特征可显著提高 CT 诊断食管癌术后吻合口复发的效能<sup>[16]</sup>。本研究基于静脉期 CT 选出 LAESCC 的 10 个最佳影像组学特征, 以之建立的模型在训练集和验证集的 AUC 分别为 0.770、0.730, 而 CT-术前病理联合影像组学的联合模型的 AUC 分别为 0.835、0.826; 联合模型不仅区分度较高, 且可通过列线图实现可视化, 提示其用于预测 LAESCC 术后 ER 具有良好价值, 有利于术前判断未经新辅助放化疗 LAESCC 患者术后

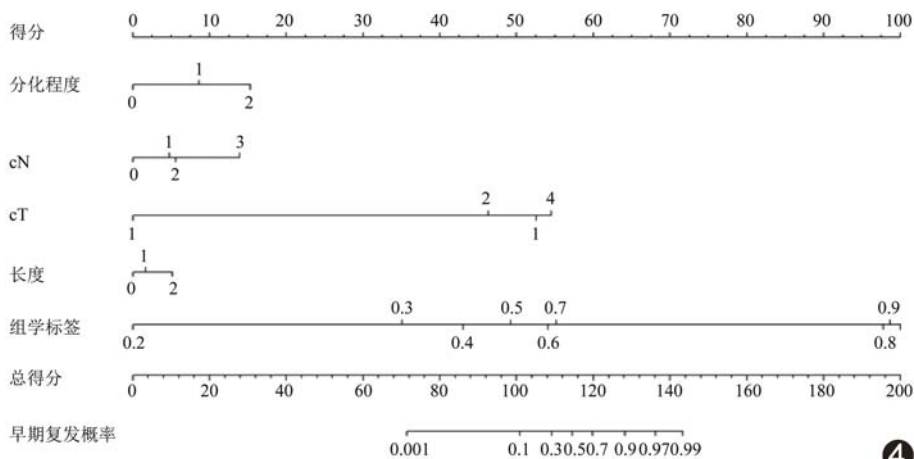


图 4 联合模型列线图

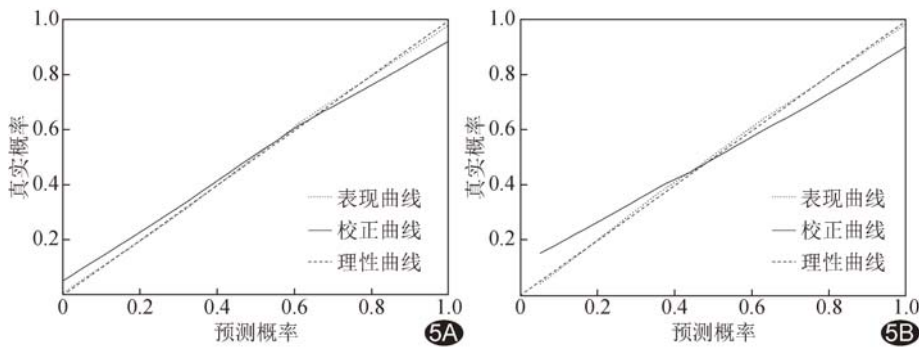


图 5 联合模型列线图校正曲线 A. 训练集; B. 验证集

ER 风险, 对 ER 风险高者可考虑于术前行新辅助放化疗。

综上, CT 影像组学联合 CT 及术前病理特征能有效预测 LAESCC 术后 ER, 为临床制定个体化治疗方案提供参考依据。但本研究为单中心回顾性分析, 采用全肿瘤分割法较为耗时, 且未对比多期 CT 影像组学, 有待后续加以完善。

利益冲突: 全体作者声明无利益冲突。

作者贡献: 邢静静查阅文献、图像分析、统计分析、

撰写文章;刘译阳和周悦研究实施;詹鹏超统计分析;  
王睿和柴亚如修改文章;吕培杰指导、图像分析;高剑  
波指导、审阅文章、经费支持。

### [参考文献]

- [1] SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2019[J]. *CA Cancer J Clin*, 2019, 69(1):7-34.
- [2] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(3):209-249.
- [3] PENG H, XUE T, CHEN Q, et al. Computed tomography-based radiomics nomogram for predicting the postoperative prognosis of esophageal squamous cell carcinoma: A multicenter study[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(11):1631-1640.
- [4] 蒋福壮, 安兰花, 付文慧, 等. 影像组学食管癌术前临床分期研究进展[J]. *中国医学影像技术*, 2022, 38(4):611-614.
- [5] LIU J, WANG Z, SHAO H, et al. Improving CT detection sensitivity for nodal metastases in oesophageal cancer with combination of smaller size and lymph node axial ratio[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(1):188-195.
- [6] WANG Q L, XIE S H, WANLIN K, et al. Global time trends in the incidence of esophageal squamous cell carcinoma [J]. *Clin Epidemiol*, 2018, 10:717-728.
- [7] GONG J, ZHANG W, HUANG W, et al. CT-based radiomics nomogram may predict local recurrence-free survival in esophageal cancer patients receiving definitive chemoradiation or radiotherapy: A multicenter study[J]. *Radiother Oncol*, 2022, 174:8-15.
- [8] ZHANG W Y, CHEN X X, CHEN W H, et al. Nomograms for predicting risk of locoregional recurrence and distant metastases for esophageal cancer patients after radical esophagectomy [J]. *BMC Cancer*, 2018, 18(1):879.
- [9] ZHANG Y, GAO J, ZHENG A, et al. Definition and risk factors of early recurrence based on affecting prognosis of esophageal squamous cell carcinoma patients after radical resection [J]. *Transl Oncol*, 2021, 14(6):101066.
- [10] KONIECZNY A, MEYER P, SCHNIDER A, et al. Accuracy of multidetector-row CT for restaging after neoadjuvant treatment in patients with oesophageal cancer[J]. *Eur Radiol*, 2013, 23(9):2492-2502.
- [11] CHEN C, FEI Z, HUANG C, et al. Prognostic value of tumor burden in nasopharyngeal carcinoma [J]. *Cancer Manag Res*, 2018, 10:3169-3175.
- [12] 余鏊, 黄玲玲, 袁振亚, 等. 基于 CT 平扫影像组学模型预测食管癌淋巴结转移 [J]. *中国医学影像技术*, 2021, 37(9):1333-1337.
- [13] 吴雯丽, 宋庆平, 董连军, 等. CT 影像组学联合 CT 特征预测肺亚实性结节侵袭性 [J]. *中国介入影像与治疗学*, 2023, 20(10):615-620.
- [14] KONG J, ZHU S, SHI G, et al. Prediction of locoregional recurrence-free survival of oesophageal squamous cell carcinoma after chemoradiotherapy based on an enhanced CT-based radiomics model[J]. *Front Oncol*, 2021, 11:739933.
- [15] TANG S, OU J, LIU J, et al. Application of contrast-enhanced CT radiomics in prediction of early recurrence of locally advanced oesophageal squamous cell carcinoma after trimodal therapy[J]. *Cancer Imaging*, 2021, 21(1):38.
- [16] 邢静静, 柴亚如, 詹鹏超, 等. 基于 CT 检查影像组学食管癌根治术后吻合口增厚性质预测模型的构建及其应用价值 [J]. *中华消化外科杂志*, 2023, 22(10):1233-1242.