



· 论 著 ·

# 基于高分辨率T2WI的影像组学列线图预测直肠癌神经周围侵犯的研究

杨彦松<sup>1</sup>, 丁勇生<sup>1</sup>, 张益飞<sup>1</sup>, 张明珠<sup>1</sup>, 郑桂华<sup>2</sup>, 沈月红<sup>1</sup>, 葛亚琼<sup>3</sup>

1. 南通市肿瘤医院影像科, 江苏 南通 226361 ;

2. 南通市肿瘤医院病理科, 江苏 南通 226361 ;

3. 通用电气医疗, 江苏 南京 210000

[摘要] 目的: 探讨高分辨率磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 影像组学列线图预测直肠癌神经周围侵犯 (perineural invasion, PNI) 的价值。方法: 回顾并入选南通市肿瘤医院2016年12月—2020年12月直肠癌患者164例, 在高分辨率T2加权成像 (T2-weighted imaging, T2WI) 斜轴位上逐层勾画病灶, 提取影像组学特征。采用最大相关最小冗余对影像组学特征进行初步筛选, 然后进行最小绝对收缩和选择算子 (the least absolute shrinkage and selection operator, LASSO) 回归分析降维, 计算影像组学标签。通过单因素和多因素logistic回归分析临床特征、MRI影像学表现、影像组学标签与PNI的关系并构建预测PNI的模型。结果: PNI发生率约29.9% (49/164), PNI阳性组和PNI阴性组之间肿瘤最大径、组织分化程度、T分期、N分期、环周切缘 (circumferential resection margin, CRM) 状态、壁外血管侵犯 (extramural vascular invasion, EMVI) 状态差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 其余指标差异无统计学意义。最终预测PNI的列线图包括组织分化程度、EMVI、影像组学标签, 训练集曲线下面积 (area under curve, AUC) 为0.88 (95% CI 0.82~0.95), 验证集AUC为0.88 (95% CI 0.74~1.00)。结论: 基于高分辨率T2WI影像组学列线图能较好地预测直肠癌PNI。

[关键词] 直肠癌; 影像组学; 磁共振成像; 神经周围浸润; 列线图

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2022.02.005

中图分类号: R735.3+7; R445.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-6210(2022)02-0130-09

## High resolution T2WI image-based radiomics nomogram for prediction of perineural invasion in rectal cancer

YANG Yansong<sup>1</sup>, DING Yongsheng<sup>1</sup>, ZHANG Yifei<sup>1</sup>, ZHANG Mingzhu<sup>1</sup>, ZHENG Guihua<sup>2</sup>, SHEN Yuehong<sup>1</sup>, GE Yaqiong<sup>3</sup> (1. Department of Radiology, Affiliated Tumor Hospital of Nantong University, Nantong 226361, Jiangsu Province, China; 2. Department of Pathology, Affiliated Tumor Hospital of Nantong University, Nantong 226361, Jiangsu Province, China; 3. GE Healthcare, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China)

Correspondence to: SHEN Yuehong E-mail: shenyuehong60481@163.com

[Abstract] **Objective:** To explore the value of high-resolution magnetic resonance imaging (MRI)-based radiomics nomogram in predicting peripheral invasion (PNI) of rectal cancer. **Methods:** A total of 164 rectal cancer patients in Affiliated Tumor Hospital of Nantong University from December 2016 to December 2020 were retrospectively enrolled. The lesions were delineated on high-resolution oblique axial T2-weighted imaging (T2WI) layer by layer and radiomics features were extracted. Firstly, the radiomics features were initially screened by maximum correlation and minimum redundancy, then the least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression analysis was performed to screen the features again and radiomics signature was calculated. Univariate analysis was conducted on the radiomic features, clinical risk factors and MRI findings. Multivariate logistic analysis was carried out to investigate the final feature subset and thus the predicting model was established. **Results:** PNI was present in 29.9% (49/164) of rectal cancer patients. There were statistically significant differences in tumor length, histological grade, MRI reported T stage, MRI reported N stage, circumferential resection margin status and extramural vascular invasion status between the PNI positive group and

基金项目: 南通市卫生和计划生育委员会科研课题专项面上项目 (MA2020007); 南通大学临床研究专项青年项目 (2019LQ014)

通信作者: 沈月红 E-mail: shenyuehong60481@163.com

PNI negative group ( $P < 0.05$ ). While there were no statistically significant differences in other indicators. The predictive nomogram of PNI included the histological grade, extramural vascular invasion status and radiomics signature. The area under curve (AUC) was 0.88 (95% CI 0.82-0.95) in the training cohort, which was 0.88 (95% CI 0.74-1.00) in the validation cohort. **Conclusion:** T2WI-based radiomic nomogram could be helpful for the prediction of PNI preoperatively in rectal cancer patients.

[ **Key words** ] Rectal cancer; Radiomics; Magnetic resonance imaging; Perineural invasion; Nomogram

直肠癌是常见的消化道恶性肿瘤，发病率和死亡率较高<sup>[1]</sup>。神经周围侵犯（perineural invasion, PNI）是肿瘤细胞侵犯神经周围结构并沿神经结构扩散转移的过程<sup>[2]</sup>。PNI是一种被严重低估的肿瘤转移途径，大量证据<sup>[3-6]</sup>表明，PNI与直肠癌术后复发以及不良预后相关。多项研究<sup>[7-8]</sup>结果显示，PNI阳性的Ⅱ期直肠癌患者预后与Ⅲ期相似或更差，PNI阳性的直肠癌患者可从术前新辅助放化疗中获益。因此术前准确判断有无PNI对治疗和预后均有重要意义。

PNI状态多通过术后病理学检查获知，术前常规影像学检查很难判断有无PNI。磁共振成像（magnetic resonance imaging, MRI），尤其是高分辨率MRI，是临床上诊断直肠癌的首选检查，MRI不仅能准确地评估病灶位置、大小、T分期、N分期，而且能提供环周切缘（circumferential resection margin, CRM）、壁外血管侵犯（extramural vascular invasion, EMVI）等对治疗和预后有重要意义的信息<sup>[9]</sup>。影像组学是目前新兴的研究热点，通过提取医学图像中高通量的定量影像组学特征，分析并进一步解码肿瘤异质性<sup>[10-11]</sup>。因此通过提取高通量的定量的影像组学特征，分析其与PNI的相关性，构建预测直肠癌PNI的影像组学模型具有可行性。本研究旨在探讨结合临床特征、MRI影像学表现和影像组学标签的列线图预测直肠癌PNI的价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

回顾并收集2016年12月—2020年12月于南通市肿瘤医院行MRI检查提示为直肠癌的患者。纳入标准：①术前1周内行MRI；②MRI

提示可疑直肠癌；③术前1周内检测癌胚抗原（carcinoembryonic antigen, CEA）、糖类抗原（carbohydrate antigen, CA）19-9等肿瘤标志物。排除标准：①术后病理学诊断为腺瘤或其他良性病变；②术前行放化疗等相关治疗；③MRI伪影较大，无法勾画病灶。最终164例患者入组本研究。本研究为回顾性研究，已通过南通市肿瘤医院伦理委员会审批（审批号2019-075）。

### 1.2 MRI检查及方法

患者检查前禁食大于4 h，检查前使用开塞露清洁肠道，采用德国Siemens公司的MAGNETOM Verio 3.0 T超导MRI扫描仪及8通道体部表面相控阵线圈。患者取仰卧位，足先进。线圈中心置于耻骨联合的水平上，并根据肿瘤位置进行必要的调整。高分辨率MRI序列采用无脂肪抑制的二维快速自旋回波序列，其参数如下：层厚3 mm，层间隔0.3 mm，重复时间（repetition time, TR）/回波时间（echo time, TE）为2 500~3 500 ms/100 ms；视野为18 cm×18 cm；像素矩阵为320×320；回波链长度（echo train length, ETL）为29。扫描顺序为高分辨率T2WI序列（包括矢状位定位相、垂直于病灶长轴的斜轴位、平行于病灶长轴的冠状位）、轴向T1加权快速梯度回波序列、弥散加权成像（diffusion-weighted imaging, DWI）序列<sup>[12]</sup>。

### 1.3 MRI图像评估

由2名经验丰富的放射科医师（阅片者1和阅片者2，分别具有16年和8年的腹部MRI经验）在对病理学检查结果不知情的情况下，回顾并评估MRI表现，包括原发灶部位，肿瘤长度，T分期，N分期，CRM和EMVI状态。

由于组织分化程度可由术前肠镜活检获知，因此将组织分化程度视为一种临床危险因素<sup>[13]</sup>。

#### 1.4 术后病理学评估

PNI诊断的金标准: 肿瘤细胞包绕神经周径 $>33\%$ , 或肿瘤细胞侵犯神经结构的其中一层(神经内膜、神经鞘膜或神经外膜)<sup>[2]</sup>。为了尽可能地避免假阴性, 1名具有16年病理学诊断经验的病理科医师参照这一诊断标准对术后H-E染色、免疫组织化学切片进行回顾并评估, 判断有无PNI。

#### 1.5 图像勾画和影像组学特征提取

使用ITK-SNAP 3.8软件在高分辨率T2加权

成像(T2-weighted imaging, T2WI)斜轴位病灶上逐层勾画病灶, 获得肿瘤感兴趣体积(volume of interest, VOI, 图1), 使用AK软件提取841个影像组学特征。由阅片者1勾画完所有患者图像后间隔1个月, 随机选取30例患者, 由阅片者1和阅片者2再次进行勾画提取影像组学特征, 计算观察者内和观察者之间的组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC), 所有勾画工作在2周内完成。ICC $>0.75$ 表示一致性较好, 否则剔除该影像组学特征<sup>[14]</sup>。

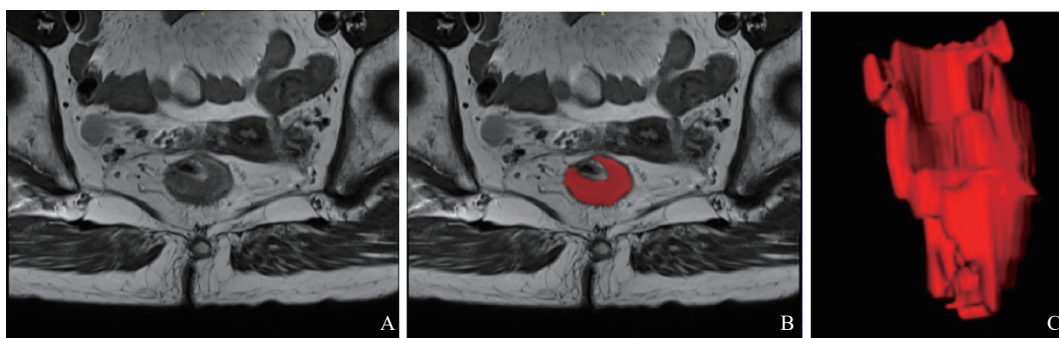


图1 病灶的勾画

A: T2WI斜轴位某一层面图像上直肠癌原发灶; B: 在该层面上使用图像处理软件(ITK-SNAP)手动勾画直肠癌原发灶, 红色区域表示该层面直肠癌原发灶范围; C: 勾画后直肠肿瘤全体积图像。

#### 1.6 影像组学模型的构建和评估

首先, 通过最大相关和最小冗余初步筛选影像组学特征, 然后经最小绝对收缩和选择算子(the least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)回归进一步降维, 构建影像组学标签。第二, 单因素logistic回归分析临床特征、MRI影像学表现对PNI的预测作用, 然后结合影像组学标签进行多因素logistic回归分析并构建预测PNI的列线图。最后, 用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估列线图预测PNI的效能并由验证组进行验证。决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)用于评估列线图的临床应用价值<sup>[15]</sup>。

#### 1.7 统计学处理

本研究采用R语言3.5.1版本进行统计学分析。用合成少数类过采样技术(synthetic minority oversampling technique, SMOTE)<sup>[16-17]</sup>对小样本数据集进行扩增以平衡PNI阳性组和PNI阴性

组的数据分布。用“mRMRe”程序包进行最大相关最小冗余分析, 用“glmnet”程序包进行LASSO回归分析, 用“pROC”程序包进行ROC曲线分析, 用“rmda”程序包绘制决策曲线。采用kappa检验、ICC评价2名阅片者对MRI影像学表现判读、图像勾画的一致性。训练集和验证集、PNI阳性组和PNI阴性组两组间符合正态分布的计量数据的比较采用独立样本 $t$ 检验, 不符合正态分布的计量数据的比较采用秩和检验, 计数数据的比较采用 $\chi^2$ 检验。用单因素和多因素logistic回归分析构建模型。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 一般临床资料

本研究中男性105例, 女性59例, 平均年龄( $65.1 \pm 10.2$ )岁。按7:3的比例分为训练集

(116例)和验证集(48例),训练集和验证集两组间临床特征、MRI影像学表现差异无统计学意义( $P>0.05$ )。术后病理学检查提示有PNI的患者49例(典型病例见图2),无PNI的患者115例。阅片者1和阅片者2判读原发灶位置、MRI肿瘤T分期、N分期、CRM、EMVI状态的kappa值或加权kappa值分别为0.97、0.92、0.86、0.92、0.88,2名阅片者测量肿瘤长度的ICC较高(0.91),故在本研究中所有MRI判读测量结果

采用经验较丰富的阅片者1的判读测量的结果。

715个影像组学特征观察者内和观察者间ICC均 $>0.75$ ,用于构建列线图模型,其余126个影像组学特征 $ICC\leq 0.75$ ,予以剔除。与PNI阴性组相比,PNI阳性组肿瘤长度长,组织分化程度低,T分期高,N分期高,CRM阳性率高,EMVI阳性率高。其余指标(如年龄、性别、CEA、CA19-9、原发灶位置等)差异无统计学意义(表1)。

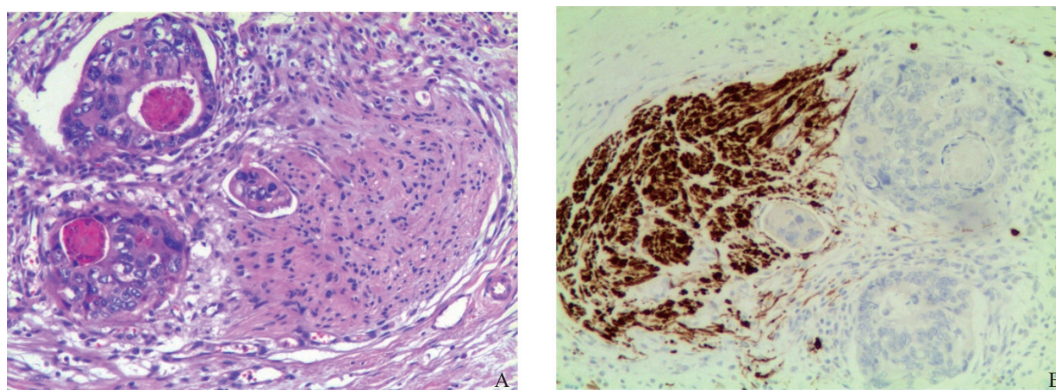


图2 典型病例(患者,男性,53岁,直肠癌PNI)病理学表现

A: 镜下可见直肠肿瘤细胞侵犯神经外膜(H-E染色,  $\times 100$ ); B: 镜下可见直肠肿瘤细胞侵犯神经外膜(S100,  $\times 100$ )。

表1 训练集和验证集、PNI阳性组和PNI阴性组两组间临床特征和MRI影像学表现的比较

变量	训练集	验证集	<i>P</i> 值	PNI阳性组	PNI阴性组	<i>n</i> (%)
年龄/岁 $\bar{x}\pm s$	64.9 $\pm$ 10.3	65.7 $\pm$ 10.1	0.681	64.7 $\pm$ 11.1	65.3 $\pm$ 9.8	0.628
性别			0.924			0.620
男性	74 (63.8)	31 (64.6)		31 (63.3)	68 (59.1)	
女性	42 (36.2)	17 (35.4)		18 (36.7)	47 (40.9)	
组织分化程度			0.323			0.004
高分化	13 (11.2)	8 (16.7)		2 (4.1)	19 (16.5)	
中分化	89 (76.7)	37 (77.1)		37 (75.5)	89 (77.4)	
低分化	14 (12.1)	3 (6.2)		10 (20.4)	7 (6.1)	
CEA/ (ng·mL <sup>-1</sup> )	3.33 (2.09, 7.07)	3.42 (1.81, 6.88)	0.919	4.02 (2.09, 12.09)	3.17 (1.95, 6.62)	0.136
CA19-9/ (ng·mL <sup>-1</sup> )	11.93 (6.41, 19.55)	10.9 (7.68, 18.82)	0.956	10.70 (6.18, 20.96)	12.06 (7.54, 19.10)	0.538
原发灶位置			0.648			0.253
低位	35 (30.2)	18 (37.5)		13 (26.5)	40 (34.8)	
中位	47 (40.5)	18 (37.5)		18 (36.7)	47 (40.9)	
高位	34 (29.3)	12 (25.0)		18 (36.7)	28 (24.3)	

续表

变量	训练集	验证集	P值	PNI阳性组	PNI阴性组	P值
病灶最大径/cm $\bar{x}\pm s$	4.56 ± 1.72	4.93 ± 1.67	0.199	5.26 ± 1.78	4.42 ± 1.62	0.040
MRI肿瘤T分期			0.827			<0.001
T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub>	65 (56.0)	26 (54.2)		17 (34.7)	74 (64.3)	
T <sub>3</sub>	51 (44.0)	22 (45.8)		32 (65.3)	41 (35.7)	
MRI肿瘤N分期			0.078			0.008
N <sub>0</sub>	65 (56.0)	34 (70.8)		22 (44.9)	77 (67.0)	
N <sub>1</sub> -N <sub>2</sub>	51 (44.0)	14 (29.2)		27 (55.1)	38 (33.0)	
CRM			0.138			0.001
阳性	32 (27.6)	8 (16.7)		20 (40.8)	20 (17.4)	
阴性	84 (72.4)	40 (83.3)		29 (59.2)	95 (82.6)	
EMVI			0.908			<0.001
阳性	30 (25.9)	12 (25.0)		27 (55.1)	15 (13.0)	
阴性	86 (74.1)	36 (75.0)		22 (44.9)	100 (87.0)	

符合正态分布的计量数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 不符合正态分布的计量数据以 $M(P25, P75)$ 表示。

### 2.2 构建影像组学预测模型

首先采用最大相关最小冗余对组学特征进行初步筛选, 保留20个有最大预测效能的特征, 然

后将剩余的影像学特征作LASSO回归分析, 通过10折交叉验证筛选LASSO回归模型的最优超参数 $\lambda$ 值(图3)。

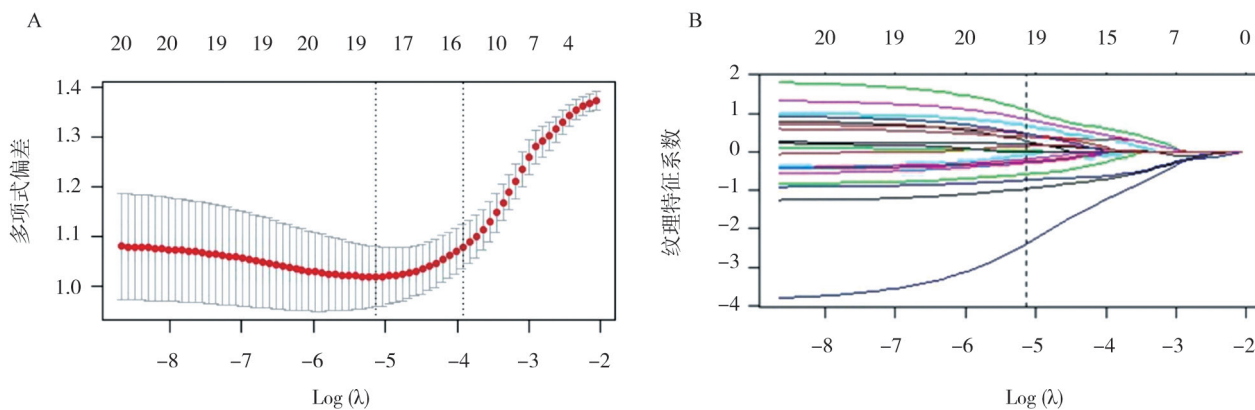


图3 LASSO 10折交叉验证图

A: 用10折交叉验证的方法寻找LASSO的超参数 $\lambda$ , 模型偏差最低点对应的横坐标为最优的 $\lambda$ 值, 即第一个虚线所在位置。B: 图像每条彩色的线代表特征的系数随 $\lambda$ 值的变化曲线, 通过图A寻找到的 $\lambda$ 值(虚线代表的位置)来确定哪个参数的系数不为0, 则将该参数用于最后的模型构建。

### 2.3 计算影像组学标签

影像组学标签是由影像组学特征乘以对应的系数之和所得到的, 其公式为“影像组学标签=截距+ $\beta_i \cdot X_i$ ”, 按这个公式分别计算每一例患者

的原发灶影像组学标签值, 并由样本的影像组学标签根据阈值对样本进行分组, Wilcoxon检验两组P值均小于0.05, 两组分类差异有统计学意义(图4)。

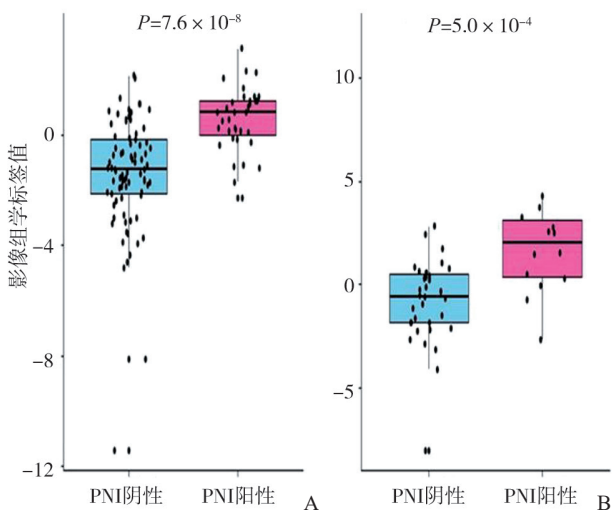


图4 Wilcoxon检验结果

A: 训练集; B: 验证集。PNI阳性组和PNI阴性组两组间影像组学标签值进行比较, 纵坐标为影像组学标签值。

## 2.4 影像组学列线图的构建和评估

首先, 选择表1中 $P < 0.1$ 的临床特征和MRI表现进行单变量logistic回归分析, 多因素logistic分析找出预测PNI的最终特征, 如表2所示。第二, 基于多因素logistic分析的结果, 构建结合影像组学标签、MRI表现和临床危险因素预测PNI的列线图(图5)。第三, 通过ROC曲线分析计算列线图在训练集中预测PNI的效能(AUC=0.88, 95% CI 0.82~0.95), 其效能优于临床-影像模型(AUC=0.79, 95% CI 0.70~0.87)或仅有影像组学标签模型(AUC=0.82, 95% CI 0.73~0.90)(图6)。列线图在验证集中预测PNI效能也较好(AUC=0.88, 95% CI 0.74~1.00)。根据Youden指数, 列线图在训练集和验证集中预测直肠癌PNI的灵敏度、特异度和准确度分别为0.60、0.97、0.79和0.75、0.94、0.88。

表2 预测PNI的单因素和多因素logistic回归分析

变量	单因素分析		多因素分析	
	OR (95% CI)	P值	OR (95% CI)	P值
组织分化程度	2.83 (1.22~7.25)	0.020	3.13 (1.25~7.83)	0.015
MRI肿瘤T分期	3.71 (1.63~8.90)	0.002	-	-
肿瘤长度	1.38 (1.09~1.79)	0.009	-	-
CRM	3.42 (1.45~8.20)	0.005	-	-
EMVI	8.85 (3.66~22.66)	0.000	5.57 (2.26~13.76)	0.000
影像组学标签			1.71 (1.21~2.38)	0.006

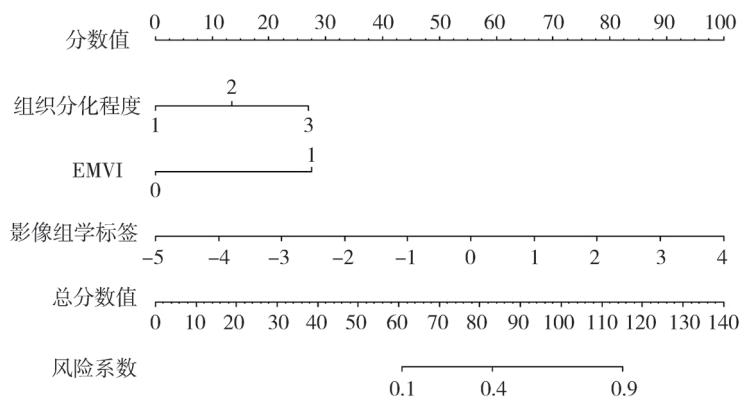


图5 预测直肠癌PNI的列线图

在组织分化程度、EMVI和影像组学标签横轴上分别进行定位, 绘制1条到分数值的直线, 以确定患者有多少分数值会发生PNI, 对上述4个预测变量的分数值进行总和, 并将分数值定位在总分数值轴上, 然后画1条直线到预测的风险系数轴, 该风险系数即反映了患者发生PNI的风险性。

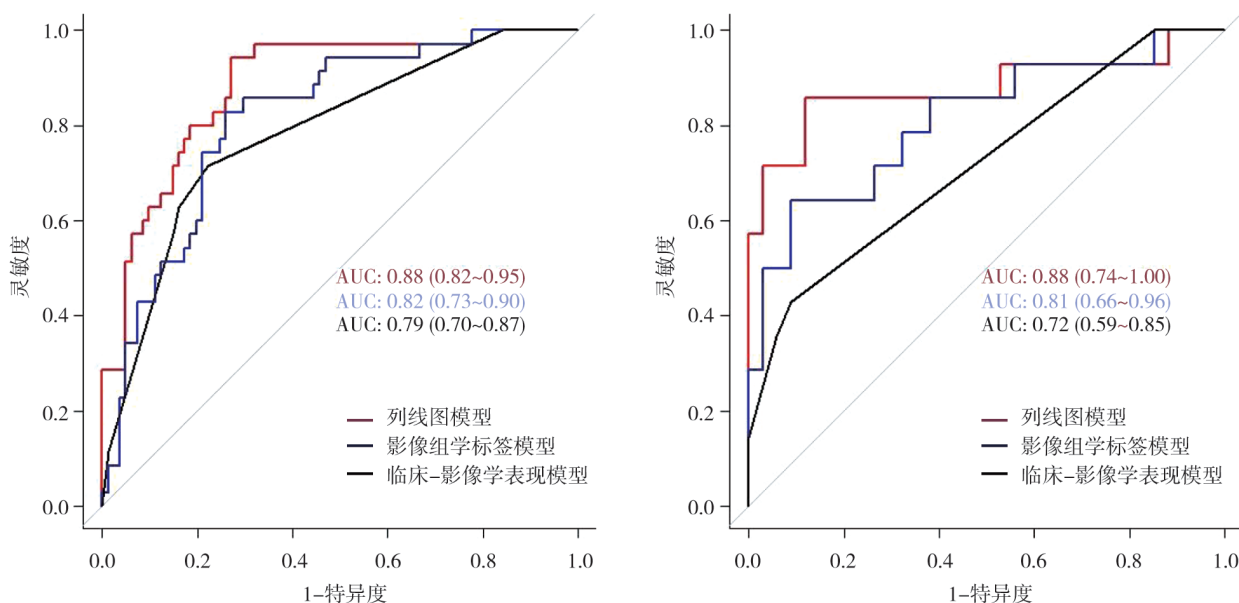


图6 列线图模型、临床-影像学表现模型、仅有影像组学标签模型预测直肠癌PNI的ROC曲线

### 2.5 列线图模型的临床应用价值

DCA显示在阈值从0.1至1.0较大的阈值范围

内, 列线图模型的净收益较大(图7)。

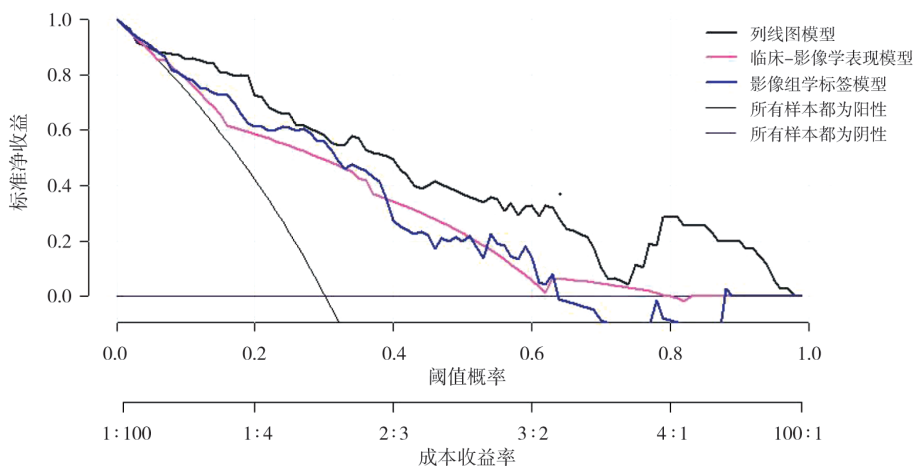


图7 该列线图模型的DCA

横坐标为阈值概率, 细棕色曲线表示所有样本都为阳性, 都接受干预, 细蓝色水平线表示所有样本都为阴性, 不做任何干预; 较粗棕色曲线表示结合临床特征、MRI影像学表现、影像组学标签的列线图模型; 粉色曲线表示临床-MRI影像学表现模型; 较粗蓝色曲线表示影像组学标签模型。

## 3 讨论

尽管既往大量研究<sup>[3-6]</sup>显示, PNI与直肠癌术后局部复发、无病生存率、癌症特异性生存率、总生存率有关, 但是由于PNI仅可通过术后

标本的病理学检查获知, 在临床工作中, PNI被严重低估、忽视。

本研究发现在直肠癌中PNI约为29.9% (49/164), 与Liebig等<sup>[7]</sup>报道的30%基本吻合。PNI阳性组较PNI阴性组肿瘤长度长, 组织分化程度低, T分期高, N分期高, CRM阳性

率高, EMVI阳性率高, 这与Poeschl等<sup>[18]</sup>和Alotaibi等<sup>[19]</sup>研究结果相似。与肿瘤长度相关的原因可能与肿瘤细胞与周围神经接触的概率增大, 神经周围浸润的机会随之增加有关; 而其他相关因素可由以下原因解释: 较低的组织分化程度、高T分期、高N分期、CRM阳性、EMVI阳性的肿瘤恶性程度较高, 侵袭性较大, 增加了肿瘤细胞侵犯原发灶附近的神经结构的机会。上述研究均提示PNI与直肠癌侵袭性的生物学特性有关。另外, Alotaibi等<sup>[19]</sup>的研究显示, PNI阳性组CEA高于PNI阴性组, 而本研究结果显示两组间CEA差异无统计学意义, 这可能与入组患者有关, Alotaibi等<sup>[19]</sup>的研究中包括了术前进行新辅助放疗的患者, 而我们的研究排除了此类患者, 且CEA分布是非正态分布数据, 通过非参数检验比较两组患者之间CEA的差异, 而非Alotaibi等<sup>[19]</sup>采用的独立样本 $t$ 检验。

列线图模型结合了组织分化程度、EMVI状态、影像组学标签。列线图预测PNI效能(训练集AUC=0.88, 验证集AUC=0.88)优于临床-MRI影像学表现模型(训练集AUC=0.79, 验证集AUC=0.72)和仅有影像组学标签模型(训练集AUC=0.82, 验证集AUC=0.81)。其原因可能如下: 根据多因素logistic回归分析的结果显示, 组织分化程度、EMVI状态、影像组学标签是直肠癌发生PNI的独立风险因素, 在治疗前应综合上述各种PNI的风险因素以增加列线图模型的预测效能。Yang等<sup>[20]</sup>结合临床风险因素(甲胎蛋白水平)、影像学表现特征(不光滑的肿瘤边缘、动脉期瘤周强化)和影像组学标签的列线图模型能较准确地预测原发性肝癌的微血管侵犯, 其预测效能优于临床-影像学表现模型和仅有影像组学标签的模型。

列线图模型在训练集和验证集中预测直肠癌PNI的灵敏度、特异度和准确度分别为0.60、0.97、0.79和0.75、0.94、0.88, 特异度和准确度较高, 但灵敏度相对较低, 这可能与术后样本偏差有关, 术后病理学检查证实仅有49例直肠癌患者存在PNI, 115例患者PNI阴性, 因此我们在建模时采用SMOTE扩增PNI阴性的样本量, 但在计

算实际预测效能时采用原始真实数据进行计算。

我们的前期研究<sup>[21]</sup>选取病灶最大截面勾画病灶感兴趣区(region of interest, ROI), 提取影像组学特征, 构建了预测直肠癌PNI的影像组学特征模型, 训练集AUC为0.79, 验证集AUC为0.76。本研究在前期工作的基础上, 继续入组患者, 扩大样本量, 在T2WI高分辨率斜轴位上逐层勾画病灶, 获得VOI, 提取影像组学特征参数, 且本研究加入了临床危险因素(如年龄、肿瘤标志物、组织分化程度等)和高分辨率MRI影像学表现(如CRM、EMVI等)信息, 最终列线图模型预测直肠癌PNI的效能高于前期研究结果, 训练集AUC=0.88, 验证集AUC=0.88, 其原因可能如下: ① 本研究逐层勾画肿瘤, 获得肿瘤VOI, VOI较ROI能更全面地反映肿瘤的异质性; ② 临床危险因素和高分辨率MRI影像学表现可从不同的角度反映肿瘤的异质性, 为预测模型提供了更多的信息。

本研究不足之处: ① 仅入组高分辨率MRI提示为直肠癌, 且手术后病理学检查证实为直肠癌的患者, 可能存在一定的选择偏倚; ② 逐层勾画病灶获得VOI, 耗时较长, 不利于临床转化应用, 后期我们将探讨自动勾画直肠肿瘤病灶的可行性<sup>[22]</sup>; ③ 仅提取T2WI影像组学特征, 未纳入DWI、增强序列进行分析; ④ 本研究为单中心研究, 内部患者验证, 尚待多中心及外部数据验证。

总之, 基于高分辨率T2WI的影像组学列线图模型可在术前无创地预测直肠癌PNI, 为患者制订合理科学的治疗方案和初步评估预后提供证据支持。

#### [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] LIEBIG C, AYALA G, WILKS J A, et al. Perineural invasion in cancer: a review of the literature [J]. Cancer, 2009, 115(15): 3379-3391.
- [3] VAN WYK H C, GOING J, HORGAN P, et al. The role of perineural invasion in predicting survival in patients with primary operable colorectal cancer: a systematic review [J]. Crit Rev Oncol Hematol, 2017, 112: 11-20.

- [ 4 ] KNIJN N, MOGK S C, TEERENSTRA S, et al. Perineural invasion is a strong prognostic factor in colorectal cancer: a systematic review [ J ] . *Am J Surg Pathol*, 2016, 40(1): 103–112.
- [ 5 ] YANG Y C, HUANG X Z, SUN J X, et al. Prognostic value of perineural invasion in colorectal cancer: a meta-analysis [ J ] . *J Gastrointest Surg*, 2015, 19(6): 1113–1122.
- [ 6 ] MAYO E, LLANOS A A, YI X H, et al. Prognostic value of tumour deposit and perineural invasion status in colorectal cancer patients: a SEER-based population study [ J ] . *Histopathology*, 2016, 69(2): 230–238.
- [ 7 ] LIEBIG C, AYALA G, WILKS J, et al. Perineural invasion is an independent predictor of outcome in colorectal cancer [ J ] . *J Clin Oncol*, 2009, 27(31): 5131–5137.
- [ 8 ] ZHOU Y, WANG H Y, GONG H L, et al. Clinical significance of perineural invasion in stages II and III colorectal cancer [ J ] . *Pathol Res Pract*, 2015, 211(11): 839–844.
- [ 9 ] HORVAT N, CARLOS TAVARES ROCHA C, CLEMENTE OLIVEIRA B, et al. MRI of rectal cancer: tumor staging, imaging techniques, and management [ J ] . *Radiographics*, 2019, 39(2): 367–387.
- [ 10 ] 郭 翌, 周世崇, 余锦华, 等. 影像组学的前沿研究与未来挑战 [ J ] . *肿瘤影像学*, 2017, 26(2): 81–90.
- [ 11 ] PANAYIDES A S, PATTICHIS M S, LEANDROU S, et al. Radiogenomics for precision medicine with a big data analytics perspective [ J ] . *IEEE J Biomed Health Inform*, 2019, 23(5): 2063–2079.
- [ 12 ] GOLLUB M J, ARYA S, BEETS-TAN R G, et al. Use of magnetic resonance imaging in rectal cancer patients: society of Abdominal Radiology (SAR) rectal cancer disease-focused panel (DFP) recommendations 2017 [ J ] . *Abdom Radiol (NY)*, 2018, 43(11): 2893–2902.
- [ 13 ] HUANG Y Q, LIANG C H, HE L, et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer [ J ] . *J Clin Oncol*, 2016, 34(18): 2157–2164.
- [ 14 ] WANG X H, SUN W, LIANG H Y, et al. Radiomics signatures of computed tomography imaging for predicting risk categorization and clinical stage of thymomas [ J ] . *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 3616852.
- [ 15 ] YANG Y S, FENG F, QIU Y J, et al. High-resolution MRI-based radiomics analysis to predict lymph node metastasis and tumor deposits respectively in rectal cancer [ J ] . *Abdom Radiol (NY)*, 2021, 46(3): 873–884.
- [ 16 ] MIN X D, LI M, DONG D, et al. Multi-parametric MRI-based radiomics signature for discriminating between clinically significant and insignificant prostate cancer: cross-validation of a machine learning method [ J ] . *Eur J Radiol*, 2019, 115: 16–21.
- [ 17 ] XIE C Y, DU R, HO J W, et al. Effect of machine learning re-sampling techniques for imbalanced datasets in <sup>18</sup>F-FDG PET-based radiomics model on prognostication performance in cohorts of head and neck cancer patients [ J ] . *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 47(12): 2826–2835.
- [ 18 ] POESCHL E M, POLLHEIMER M J, KORNPAT P, et al. Perineural invasion: correlation with aggressive phenotype and independent prognostic variable in both colon and rectum cancer [ J ] . *J Clin Oncol*, 2010, 28(21): e358–e362.
- [ 19 ] ALOTAIBI A M, LEE J L, KIM J, et al. Prognostic and oncologic significance of perineural invasion in sporadic colorectal cancer [ J ] . *Ann Surg Oncol*, 2017, 24(6): 1626–1634.
- [ 20 ] YANG L, GU D S, WEI J W, et al. A radiomics nomogram for preoperative prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma [ J ] . *Liver Cancer*, 2019, 8(5): 373–386.
- [ 21 ] 杨彦松, 冯 峰, 傅爱燕, 等. MR放射组学预测直肠癌患者神经周围侵犯的研究 [ J ] . *放射学实践*, 2019, 34(11): 1192–1197.
- [ 22 ] WANG J Z, LU J Y, QIN G, et al. Technical note: a deep learning-based autosegmentation of rectal tumors in MR images [ J ] . *Med Phys*, 2018, 45(6): 2560–2564.

( 收稿日期: 2022-01-25 修回日期: 2022-02-21 )